

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“PROPUESTA DE EVALUACIÓN DEL EFECTO  
POUNDING EN LA RESPUESTA ESTRUCTURAL  
DE TRES EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES  
COLINDANTES CON INSUFICIENTE JUNTA  
SÍSMICA, VENTANILLA - 2023”

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autor:**

Gabriel Juan Espinoza Diaz

**Asesor:**

Mg. Julio Christian Quesada Llanto

<https://orcid.org/0000-0003-4366-4926>

Lima - Perú

2023

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Dr. Ing. Omart Demetrio Tello Malpartida</b>	<b>08644876</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

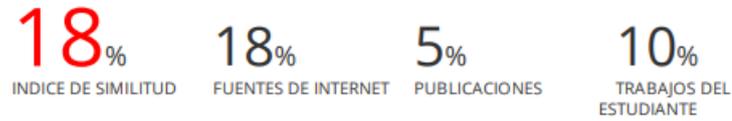
Jurado 2	<b>Mg. Ing. Luis Alberto Alva Reyes</b>	<b>42013371</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Mg. Ing. Katia Nataly Carrion Rabanal</b>	<b>46269439</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

Grabiél J. Espinoza Diaz

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>kupdf.net</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>www.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>upc.aws.openrepository.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>documents.mx</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>tesis.ucsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>Submitted to Universidad Católica de Santa María</b>	<b>&lt;1%</b>

## **DEDICATORIA**

Dedico esta investigación a mi madre por brindarme la oportunidad de estudiar la carrera de mis sueños, de quien estaré eternamente agradecido, también le dedico a mi padre y hermanos, por apoyarme incondicionalmente en el proceso de mi formación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia por el apoyo brindado en trascurso de mi vida universitaria, de quienes estaré eternamente agradecido por el sacrificio que hicieron en mi formación profesional y ser una persona de bien.

## Tabla de contenido

<b>JURADO EVALUADOR.....</b>	<b>2</b>
<b>INFORME DE SIMILITUD .....</b>	<b>3</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>5</b>
<b>Tabla de contenido .....</b>	<b>6</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>7</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>10</b>
<b>Índice de ecuaciones .....</b>	<b>13</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....</b>	<b>39</b>
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS.....</b>	<b>105</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>120</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>126</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> Matriz de operacionalización de variables .....	42
<b>Tabla 2:</b> Matriz de recolección de datos .....	44
<b>Tabla 3:</b> Materiales .....	45
<b>Tabla 4:</b> Tabla de Aceleración Espectral y Periodo .....	53
<b>Tabla 5:</b> Periodos y participación de masa para el edificio A .....	54
<b>Tabla 6:</b> Fuerzas cortantes en la dirección X para el edificio A.....	54
<b>Tabla 7:</b> Fuerzas cortantes en la dirección Y para el edificio A.....	54
<b>Tabla 8:</b> Máximos desplazamientos en el edificio A.....	55
<b>Tabla 9:</b> Irregularidad torsional en la dirección X del edificio A.....	56
<b>Tabla 10:</b> Irregularidad torsional en la dirección Y del edificio A.....	56
<b>Tabla 11:</b> Desplazamientos máximos y derivas en la dirección X para el edificio A .....	57
<b>Tabla 12:</b> Desplazamientos máximos y derivas en la dirección Y para el edificio A .....	57
<b>Tabla 13:</b> Resumen de los desplazamientos y derivas máximas para la edificación A.....	58
<b>Tabla 14:</b> Junta sísmica en ambas direcciones para la edificación A.....	58
<b>Tabla 15:</b> Periodos y participación de masa en el edificio B .....	59
<b>Tabla 16:</b> Fuerzas cortantes debido a la carga sísmica en X para el edificio B .....	59
<b>Tabla 17:</b> Fuerzas cortantes debido a la carga sísmica en Y para el edificio B .....	59
<b>Tabla 18:</b> Máximos desplazamientos en el edificio B.....	60
<b>Tabla 19:</b> Irregularidad torsional en la dirección X del edificio B.....	61
<b>Tabla 20:</b> Irregularidad torsional en la dirección Y del edificio B.....	61
<b>Tabla 21:</b> Desplazamientos máximos y derivas en la dirección X para el edificio B .....	62
<b>Tabla 22:</b> Desplazamientos máximos y derivas en la dirección Y para el edificio B .....	62
<b>Tabla 23:</b> Resumen de los desplazamientos y derivas máximas para la edificación B.....	63
<b>Tabla 24:</b> Junta sísmica en ambas direcciones para la edificación B .....	63
<b>Tabla 25:</b> Periodos y participación de masa en el edificio C .....	64
<b>Tabla 26:</b> Fuerzas cortantes debido a la carga sísmica en X para el edificio C .....	64
<b>Tabla 27:</b> Fuerzas cortantes debido a la carga sísmica en Y para el edificio C .....	64
<b>Tabla 28:</b> Máximos desplazamientos en el edificio C.....	65

<b>Tabla 29:</b> Irregularidad torsional en la dirección X del edificio C.....	66
<b>Tabla 30:</b> Irregularidad torsional en la dirección Y del edificio C.....	66
<b>Tabla 31:</b> Desplazamientos máximos y derivas en la dirección X para el edificio C .....	67
<b>Tabla 32:</b> Desplazamientos máximos y derivas en la dirección Y para el edificio C .....	67
<b>Tabla 33:</b> Resumen de los desplazamientos y derivas máximas para la edificación C.....	68
<b>Tabla 34:</b> Junta sísmica en ambas direcciones para la edificación C.....	68
<b>Tabla 35:</b> Máxima aceleración y escalado a 0.45g.....	70
<b>Tabla 36:</b> Máximos desplazamientos en el edificio A.....	72
<b>Tabla 37:</b> Derivas de los Desplazamientos Positivos para el Edificio A .....	72
<b>Tabla 38:</b> Derivas de los Desplazamientos Negativos para el Edificio A.....	72
<b>Tabla 39:</b> Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación A.....	73
<b>Tabla 40:</b> Máximos desplazamientos en el edificio B.....	74
<b>Tabla 41:</b> Derivas de los Desplazamientos Positivos para el edificio B .....	74
<b>Tabla 42:</b> Derivas de los Desplazamientos Negativos para el Edificio B .....	74
<b>Tabla 43:</b> Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación B.....	75
<b>Tabla 44:</b> Máximos desplazamientos en el edificio C.....	76
<b>Tabla 45:</b> Derivas de los desplazamientos positivos para el edificio C .....	76
<b>Tabla 46:</b> Derivas de los desplazamientos negativos para el edificio C.....	76
<b>Tabla 47:</b> Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación C.....	77
<b>Tabla 48:</b> Máximos desplazamientos en el edificio A con efecto Pounding.....	79
<b>Tabla 49:</b> Derivas positivas para el Edificio A con efecto Pounding.....	79
<b>Tabla 50:</b> Derivas negativas para el Edificio A con efecto Pounding .....	79
<b>Tabla 51:</b> Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación A.....	81
<b>Tabla 52:</b> Máximos desplazamientos en el edificio B con efecto Pounding.....	81
<b>Tabla 53:</b> Derivas Positivas Para el edificio B con Efecto Pounding.....	81
<b>Tabla 54:</b> Derivas Negativas para el Edificio B con Efecto Pounding.....	81
<b>Tabla 55:</b> Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación B con Efecto Pounding .....	82

<b>Tabla 56:</b> Máximos desplazamientos en el edificio C con Efecto Pounding .....	83
<b>Tabla 57:</b> Derivas positivas Para el edificio C con Efecto Pounding .....	83
<b>Tabla 58:</b> Derivas negativas para el Edificio C con Efecto Pounding .....	83
<b>Tabla 59:</b> Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación C con Efecto Pounding .....	84
<b>Tabla 60:</b> Máximos desplazamientos en el edificio A con Amortiguadores .....	92
<b>Tabla 61:</b> Derivas positivas para el Edificio A con Amortiguadores .....	92
<b>Tabla 62:</b> Derivas negativas para el Edificio A con Amortiguadores .....	92
<b>Tabla 63:</b> Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación con Amortiguadores .....	93
<b>Tabla 64:</b> Máximos desplazamientos en el edificio B con amortiguadores .....	94
<b>Tabla 65:</b> Derivas positivas para el edificio B con amortiguadores .....	94
<b>Tabla 66:</b> Derivas negativas para el Edificio B con amortiguadores .....	94
<b>Tabla 67:</b> Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación B con amortiguadores .....	95
<b>Tabla 68:</b> Máximos desplazamientos en el edificio C con amortiguadores .....	96
<b>Tabla 69:</b> Derivas positivas Para el edificio C con amortiguadores .....	96
<b>Tabla 70:</b> Derivas negativas para el Edificio C con amortiguadores .....	96
<b>Tabla 71:</b> Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación C con amortiguadores .....	97

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> Formas de Impacto entre estructuras .....	22
<b>Figura 2:</b> Elemento GAP .....	23
<b>Figura 3:</b> Configuraciones críticas de golpeteo estructural .....	24
<b>Figura 4:</b> Modelo de cortante para edificaciones .....	26
<b>Figura 5:</b> Diagrama de cuerpo libre del Modelo de Cortante para edificaciones.....	26
<b>Figura 6:</b> Las matrices de masas y de rigidez.....	27
<b>Figura 7:</b> Términos relativos a la respuesta estructural.....	27
<b>Figura 8:</b> Modelo de análisis pseudotridimensional y sus grados de libertad.....	29
<b>Figura 9:</b> Diseño de investigación.....	40
<b>Figura 10:</b> Población y muestra.....	41
<b>Figura 11:</b> Idealización de las tres edificaciones multifamiliares colindantes. ....	46
<b>Figura 12:</b> Procedimiento para el desarrollo de la tesis .....	47
<b>Figura 13:</b> Modelamiento del edificio A .....	48
<b>Figura 14:</b> Modelamiento del edificio B .....	49
<b>Figura 15:</b> Modelamiento del edificio C .....	50
<b>Figura 16:</b> Modelamiento de las tres edificaciones juntas .....	51
<b>Figura 17:</b> Gráfico de Espectro de Respuesta .....	53
<b>Figura 18:</b> Puntos extremos máximos en el edificio A .....	55
<b>Figura 19:</b> Desplazamientos máximos y derivas para el edificio A.....	57
<b>Figura 20:</b> Puntos extremos máximos en el edificio B.....	60
<b>Figura 21:</b> Desplazamientos máximos y derivas para el edificio B .....	62
<b>Figura 22:</b> Puntos extremos máximos en el edificio C.....	65
<b>Figura 23:</b> Desplazamientos máximos y derivas para el edificio C .....	67
<b>Figura 24:</b> Gráfico de Acelerograma Lima 1966 escalado a 0.45g.....	70
<b>Figura 25:</b> Modelo sin ningún elemento de enlace (Sin efecto Pounding) .....	71
<b>Figura 26:</b> Desplazamientos y derivas máximas del edificio A .....	73
<b>Figura 27:</b> Desplazamientos y derivas máximas del edificio B .....	75
<b>Figura 28:</b> Desplazamientos y derivas máximas del edificio C .....	77
<b>Figura 29:</b> Modelo con elementos de enlace (Con efecto Pounding) .....	78
<b>Figura 30:</b> Desplazamientos y derivas máximas del edificio A con efecto Pounding .....	80
<b>Figura 31:</b> Desplazamientos y derivas máximas del edificio B con Efecto Pounding.....	82

**Figura 32:** Desplazamientos y derivas máximas del edificio C con efecto Pounding ..... 84

**Figura 33:** Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones A y B en el Eje A ..... 85

**Figura 34:** Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones A y B en el Eje B..... 85

**Figura 35:** Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones A y B en el Eje C..... 86

**Figura 36:** Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones A y B en el Eje D ..... 86

**Figura 37:** Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones A y B en el Eje E..... 87

**Figura 38:** Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones A y B en el Eje F ..... 87

**Figura 39:** Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones B y C en el Eje A..... 88

**Figura 40:** Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones B y C en el Eje B..... 88

**Figura 41:** Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones B y C en el Eje C..... 89

**Figura 42:** Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones B y C en el Eje D..... 89

**Figura 43:** Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones B y C en el Eje E..... 90

**Figura 44:** Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones B y C en el Eje F ..... 90

**Figura 45:** Modelo con elementos de amortiguamiento..... 91

**Figura 46:** Desplazamientos y derivas máximas del edificio A amortiguado..... 93

**Figura 47:** Desplazamientos y derivas máximas del edificio B amortiguado ..... 95

**Figura 48:** Desplazamientos y derivas máximas del edificio C amortiguado ..... 97

**Figura 49:** Fuerzas de Impacto entre las edificaciones A y B en el Eje A amortiguado.... 98

**Figura 50:** Fuerzas de Impacto entre las edificaciones A y B en el Eje B amortiguado .... 98

**Figura 51:** Fuerzas de Impacto entre las edificaciones A y B en el Eje C amortiguado .... 99

**Figura 52:** Fuerzas de Impacto entre las edificaciones A y B en el Eje D amortiguado.... 99

**Figura 53:** Fuerzas de Impacto entre las edificaciones A y B en el Eje E amortiguado .. 100

**Figura 54:** Fuerzas de Impacto entre las edificaciones A y B en el Eje F amortiguado .. 100

**Figura 55:** Fuerzas de Impacto entre las edificaciones B y C en el Eje A amortiguado .. 101

**Figura 56:** Fuerzas de Impacto entre las edificaciones B y C en el Eje B amortiguado .. 101

**Figura 57:** Fuerzas de Impacto entre las edificaciones B y C en el Eje C amortiguado .. 102

**Figura 58:** Fuerzas de Impacto entre las edificaciones B y C en el Eje D amortiguado .. 102

**Figura 59:** Fuerzas de Impacto entre las edificaciones B y C en el Eje E amortiguado .. 103

**Figura 60:** Fuerzas de Impacto entre las edificaciones B y C en el Eje F amortiguado... 103

**Figura 61:** Comparación de las fuerzas cortantes en la base de la edificación A con y sin efecto Pounding ..... 105

**Figura 62:** Comparación de las fuerzas cortantes en la base de la edificación B con y sin efecto Pounding ..... 106

**Figura 63:** Comparación de las fuerzas cortantes en la base de la edificación C con y sin efecto Pounding ..... 106

<b>Figura 64:</b> Comparación de los desplazamientos máximas negativas y positivas de la edificación A con y sin efecto Pounding .....	107
<b>Figura 65:</b> Comparación de las derivas máximas negativas y positivas de la edificación A con y sin efecto Pounding.....	108
<b>Figura 66:</b> Comparación de los desplazamientos máximas negativas y positivas de la edificación B con y sin efecto Pounding .....	109
<b>Figura 67:</b> Comparación de las derivas máximas negativas y positivas de la edificación B con y sin efecto Pounding.....	109
<b>Figura 68:</b> Comparación de los desplazamientos máximas negativas y positivas de la edificación C con y sin efecto Pounding .....	110
<b>Figura 69:</b> Comparación de las derivas máximas negativas y positivas de la edificación C con y sin efecto Pounding.....	111
<b>Figura 70:</b> Comparación de las fuerzas cortantes en la base de la edificación A con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas .....	112
<b>Figura 71:</b> Comparación de las fuerzas cortantes en la base de la edificación B con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas.....	112
<b>Figura 72:</b> Comparación de las fuerzas cortantes en la base de la edificación C con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas.....	113
<b>Figura 73:</b> Comparación de los desplazamientos máximos negativos y positivos de la edificación A con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas.....	114
<b>Figura 74:</b> Comparación de las derivas máximas negativas y positivas de la edificación A con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas .....	114
<b>Figura 75:</b> Comparación de los desplazamientos máximos negativos y positivos de la edificación B con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas.....	115
<b>Figura 76:</b> Comparación de las derivas máximas negativas y positivas de la edificación B con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas .....	116
<b>Figura 77:</b> Comparación de los desplazamientos máximos negativos y positivos de la edificación C con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas.....	116
<b>Figura 78:</b> Comparación de las derivas máximas negativas y positivas de la edificación C con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas .....	117
<b>Figura 79:</b> Comparación de las fuerzas de impacto máximos negativos y positivos para los edificios A y B, con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas.....	118
<b>Figura 80:</b> Comparación de las fuerzas de impacto máximos negativos y positivos entre los edificios B y C, con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas .....	119

## Índice de ecuaciones

<b>Ecuación 1:</b> Separación mínima entre edificios .....	21
<b>Ecuación 2:</b> Rigidez efectiva del elemento GAP.....	23
<b>Ecuación 3:</b> Rigidez efectiva del elemento GAP.....	23
<b>Ecuación 4:</b> Ecuación de movimiento sin amortiguamiento .....	27
<b>Ecuación 5:</b> Ecuación fundamental de movimiento de un SMGL. ....	30
<b>Ecuación 6:</b> Aceleración Espectral .....	53

## RESUMEN

Las edificaciones ante un movimiento telúrico sufren desplazamientos laterales, así también las edificaciones que los colindan, esto se debe a las cargas sísmicas; ante ello si no existe una adecuada junta sísmica o son insuficientes se genera el Efecto Pounding, es decir, la colisión entre las estructuras. Es por ello por lo que la presente investigación tiene por objetivo, determinar una propuesta de evaluación del efecto Pounding en la respuesta estructural de tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica. La evaluación del efecto Pounding, consistió en realizar el análisis de tres casos en particular, para ello se aplicó una aceleración en el terreno (sismo de 1966 en Lima-Callao), el primer caso consistió en evaluar la respuesta estructural de la edificación sin el efecto Pounding, el segundo caso se trata de analizar cuando existe el golpe sísmico y para el tercer caso se presenta una propuesta, para el control de los golpes sísmicos. De los resultados, se puede precisar que el golpe sísmico altera la respuesta estructural de cada una de las edificaciones, son los parámetros globales de las estructuras los que se ven modificadas; las magnitudes de las fuerzas de colisión son versátiles en el transcurso del tiempo en que ocurre el sismo, y con la incorporación de amortiguadores en las juntas sísmicas, ayuda a disminuir en un 81% el efecto Pounding y librar a las edificaciones en gran medida de los golpes de impacto.

**PALABRAS CLAVES:** Efecto Pounding, Evaluación estructural, Elemento Gap, Elemento Rubber, Golpe estructural.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

Las edificaciones ante un movimiento telúrico sufren desplazamientos laterales, así también las edificaciones contiguas, esto se debe a las cargas sísmicas; ante ello si no existe una adecuada junta sísmica o son insuficientes, se genera el golpeteo sísmico (Efecto Pounding). Las colisiones entre edificaciones se dividen en dos tipos y estas son: la colisión entre losa-columna y entre losas, siendo la primera la más crítica.

Si bien es muy raro la ocurrencia del golpeteo sísmico entre edificaciones, los daños por golpes pueden ocurrir en edificios tan pequeños como de un piso, además que el movimiento relativo de cierre entre estructuras adyacentes será amplificado por el dinamismo del suelo, espacialmente desiguales debido a la licuación en el sitio local. (G.L. Cole & R.P. Dhakal, 2012)

Según Mohamed, H. et al. (2021) en su artículo de revisión sistemática titulada Golpe sísmico entre edificios adyacentes, concluye acerca de todos los estudios que se relacionan al tema de golpeteo sísmico, y afirma que “el golpeo estructural cambia la respuesta dinámica de las estructuras adyacentes, por ello se recomienda encarecidamente en uso de medidas de mitigación”, por lo tanto, luego de lo descrito anteriormente se puede afirmar que no es un problema menor ni insignificante dicho efecto. A nivel mundial a lo largo de la historia se han presentado estos efectos en los múltiples terremotos acontecidos, ocasionando daños severos o en el peor de los casos el colapso de las estructuras; sin embargo, en el Perú este tema se estudia e investiga en una escala menor, esto debido al poco conocimiento e importancia que se le presta al problema, si bien en la normativa peruana se plantea ciertos criterios para considerar una adecuada junta sísmica en las edificaciones, esto no se cumple en las ejecuciones de las obras, es por ello que las edificaciones colindantes si podrían

colisionar ante un movimiento telúrico, por ende se está ignorando este problema inminente en las concepciones de las edificaciones; en efecto, las edificaciones informales presentan grandes riesgos. Los hechos más lamentables e irreversibles, ante un sismo severo serán: la pérdida de vidas y daños materiales muy considerables; por lo tanto, el Perú no es ajeno a estos problemas; más, considerando que las viviendas o edificaciones presentan características inadecuadas en relación con las juntas sísmicas.

La presente investigación es de suma importancia, ya que nos permite conocer de las edificaciones multifamiliares colindantes el comportamiento estructural ante sismo severos, es decir, predecir y evitar los golpes sísmicos, en base a ello tener en cuenta el diseño sismorresistente de las futuras edificaciones y reforzar las existentes. La causa principal del problema que se presenta es la insuficiente junta sísmica entre edificaciones multifamiliares colindantes, en efecto, la consecuencia podría ser muy perjudicial y sería el daño de la estructura o el colapso de esta, lo mencionado anteriormente podría ocurrir si no se considera el criterio del golpe sísmico en el análisis estructural.

Ante ello se propone en el presente trabajo de investigación la siguiente pregunta como problema a investigar: ¿Cuáles son los cambios que genera el efecto Pounding en la respuesta estructural de tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica, ventanilla-2023?

### ***Antecedentes de la Investigación***

Castillo et al. (2019) realizó un trabajo de investigación titulado “Análisis de la interacción entre estructuras adyacentes de concreto armado de 5 y 12 pisos sin una adecuada junta de separación sísmica en la ciudad de Lima”, el cual tuvo como objetivo analizar y determinar la fuerza de impacto de las estructuras colindantes de concreto armado, generado durante el movimiento sísmico, con juntas de separación sísmicas inferiores a lo reglamentado en la normativa peruana, en el estudio se tomó dos edificaciones, ambas ubicadas en el distrito de San Isidro de la ciudad de Lima, es decir se encuentran en la zona tipo 4 según la normativa peruana, con un suelo considerado como rígido de acuerdo con lo consultado a expertos en la materia. Ambas edificaciones modeladas utilizando el programa estructural especializado llamado ETABS, una adyacente a la otra, con lo cual analizan el golpeteo sísmico (efecto Pounding). Posterior al análisis se concluye que, si bien el análisis arroja una serie de impacto en distintos niveles, en la realidad lo que se observa es la falla en un solo nivel, donde generalmente el edificio bajo golpe al alto. Esto nos indica que el análisis es útil ya que las fuerzas que se calculan son mayores de lo que pueden soportar los elementos estructurales.

Fiore et al. (2013) desarrollo un artículo de investigación titulada “Earthquake-Induced Lateral-Torsional Pounding between Two Equal Height Multi-Storey Buildings under Multiple Bi-Directional Ground Motions” en la Universidad Técnica de Bari , Italia, el objetivo del artículo fue presentar un estudio analítico detallado sobre el efecto lateral-torsional inducido por un sismo, el golpeteo sísmico entre dos edificios de varios pisos de igual altitud con la misma altura de pisos, en el modelo se considera tanto un modelo viscoelástico no lineal de las fuerzas de corte y los pares

del piso, la respuesta involucrada en golpes se evalúa en la hipótesis el contacto sin fricción, los efectos torsionales se tienen en cuenta implementando los escenarios de impacto más probables, dependiendo del signo de las rotaciones de dos pisos-diafragmas adyacentes. Se considera edificios asimétricos con excentricidades iniciales solo en la dirección transversal, mientras que el movimiento del suelo de entrada se incorpora en el análisis en ambas direcciones.

Moustafa, A., & Mahmoud, S. (2014) en su investigación titulada “Damage assessment of adjacent buildings under earthquake loads”, realizada en Egipto, tuvieron como objetivo de estudio evaluar los daños de edificios adyacentes que chocan bajo un fuerte movimiento del suelo. Se evaluó el impacto de los edificios adyacentes utilizando la energía de entrada, la energía disipada y los índices de daño, además avalúan los índices de daño calculando las respuestas de la estructura exigida por los terremotos y las capacidades estructurales asociadas, ya que los índices de daño proporcionan estimaciones cuantitativas de nivel de daño estructural y, por lo tanto, se puede tomar una decisión sobre la reparación necesaria, así también investigan las influencias de la distancia de separación entre edificios, las propiedades de los edificios, como la condición de base fija o aislada y el límite elástico sobre el daño de los edificios adyacentes.

Chase et al. (2015) en su artículo titulado “Linear and Nonlinear Seismic Structural Impact Response Spectral Analyses”, desarrollado en el departamento de ingeniería de Recursos Civiles y Naturales, Universidad de Canterbury, Christchurch, Nueva Zelanda, describe el análisis de estructuras de un solo grado de libertad con diferentes espaciamientos, coeficientes de restitución, periodos estructurales y casos tanto lineales como no lineales, a un conjunto de registros sísmicos con probabilidad de

ocurrencia equivalente. Una metodología para relacionar la probabilidad de impacto y la probabilidad de diferentes niveles de pico porcentual, aumento del desplazamiento espectral sobre un conjunto de eventos con probabilidad de ocurrencias equivalente. Los resultados generales brindan una visión significativa de los parámetros de diseño y su sensibilidad en torno al impacto estructural, y brindan estos resultados dentro de un marco basado en el riesgo accesible a los diseñadores y la profesión. El enfoque desarrollado puede generalizarse a otros casos con más grados de libertad, diferentes masas o valores de amortiguamiento.

Zhai et al. (2015) presentaron un estudio titulado “Dimensional analysis of earthquake-induced pounding between adjacent inelastic MDOF buildings”, realizado en la Escuela de Ingeniería Civil, Instituto de Tecnología de Harbin, China, el cual tuvo como objetivo investigar la respuesta de los golpes sísmicos de edificios adyacentes con varios grados de libertad (MDOF) con características de resistencia bilineal entre pisos a través del análisis dimensional. La aplicación del análisis dimensional conduce a una presentación condensada de la respuesta, y se descubre la notable propiedad de autosimilitud para edificios MDOF bilineales con colisión inelástica. Se muestra que cuando la respuesta se expresa en la forma adimensional apropiada, los espectros de respuesta para cualquier intensidad de excitación colapsan en una única curva maestra. El efecto de los golpes en la respuesta del edificio MDOF se ilustra utilizando tres regiones espectrales bien divididas (regiones amplificadas, des amplificadas y no afectadas). Los resultados muestran que la influencia de la relación de rigidez del sistema en el edificio más ligero y flexible es más significativa en la primera región espectral, donde la respuesta máxima del edificio se amplifica debido al golpeteo; y la velocidad y la fuerza de impacto del

edificio más pesado y rígido son inesperadamente sensibles a la relación de masa de los edificios adyacentes.

Elavenil et al. (2017) desarrollaron una investigación titulada “Linear and non-linear dynamic evaluation of concrete structures due to pounding effects”, en la División de Ingeniería Estructural, Facultad de Ciencias Mecánicas y de la Construcción, Universidad VIT (campus de Chennai), Chennai, 60012, India, tuvieron como objetivo examinar la evaluación dinámica de estructuras de hormigón y los efectos de impacto con múltiples alturas de edificaciones, para el análisis tiempo historia y el análisis del espectro de respuesta se usó el programa ETABS. Los resultados lo obtuvieron en forma de desplazamiento de puntos y fuerza de golpe, el efecto de los golpes es mayor cuando las estructuras se mantienen en niveles extremos de retroceso, además la fuerza de colisión se desarrolla a la altura media de la estructura.

Balasubramaniam T. (2018) en su investigación titulada “el efecto Pounding en edificaciones y su control”, en el que tuvo como objetivo estudiar el efecto de los golpes en edificios de mediana altura y controlar el daño debido a los golpes utilizando amortiguadores adecuados. En el estudio se han considerado dos edificios rectangulares, con diferentes características dinámicas. Planteo el análisis no lineal del movimiento del suelo, bajo el terremoto de Uttarakashi de 1991, se lleva a cabo el modelamiento de los edificios en la plataforma numérica SAP2000. Se observan golpes entre el edificio, lo que también causa tensiones adicionales y fuerza de cizallamiento en los miembros de ambos edificios, en el estudio se verifica la eficiencia de los amortiguadores en el control de golpes, del cual concluyo que los amortiguadores modelados demuestran ser efectivos para reducir el desplazamiento hasta en un 40% y la aceleración hasta un 50%.

## ***Bases Teóricas***

**Juntas Sísmicas.** Es el espacio físico que separa a dos estructuras independientes, con la finalidad de que las estructuras tengan una respuesta estructural independiente una del otro, según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE E.030) “Toda estructura estará separada de las vecinas, desde el nivel del terreno natural, una distancia mínima  $s$  para evitar el contacto durante un movimiento sísmico”.

Asimismo, el RNE E.030 propone separaciones mínimas a considerar que son las siguientes:

$$s = (2/3) * D_{max}$$
$$s = 0.006 * h \geq 0.03 \text{ m}$$

### **Ecuación 1: Separación mínima entre edificios**

Donde:

$D_{max}$  = Desplazamiento máximo de la edificación.

$h$  = Altura medida desde el terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar  $s$ .

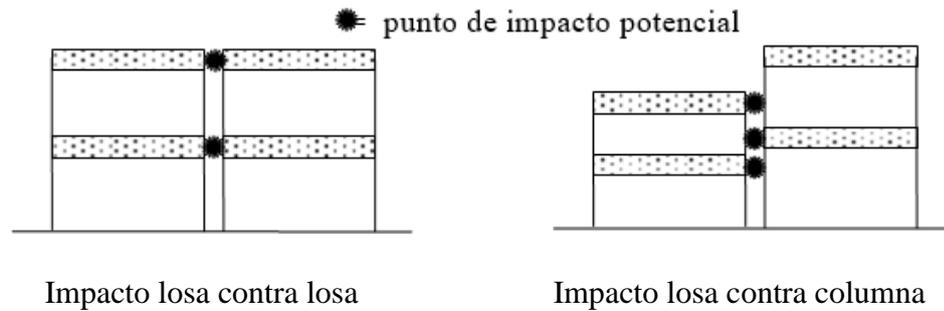
El edificio se retira de los límites de propiedad adyacentes a otros lotes edificables, o con edificaciones, distancias no menores que  $2/3$  del desplazamiento máximo calculado según el artículo 31 del RNE E.030 ni menores que  $s/2$  si la edificación existente cuenta con una junta sísmica reglamentaria.

**Efecto Pounding (Golpeteo Sísmico).** El efecto Pounding se define como la colisión entre dos estructuras colindantes debido a las cargas sísmicas (Movimiento Telúricos), esto debido a la insuficiente junta sísmica que presentan las edificaciones. Se clasifican

básicamente en dos tipos de colisiones de edificaciones, siendo estos el golpeteo sísmico de losa contra losa y losa contra columna.

**Figura 1:**

*Formas de Impacto entre estructuras*



*Nota.* El grafico muestra los tipos de colisiones de edificaciones. Tomada de “Building Pounding state of the art: Identifying structures vulnerable to pounding damage” (p. 1), por G.L. Cole, RP Dhakal, AJ Carr y DK Bull, 2010, *NZSEE Conference*.

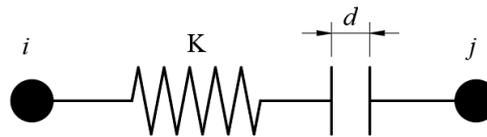
El golpeteo sísmico de losa contra losa consiste en el estudio de la transferencia de energía entre sistemas estructurales (estéreo-mecánica), es decir se estudia las condiciones físicas que se necesitan para movilizar la energía entre los sistemas estructurales, esto como consecuencia del impacto de las losas de entresijos de las estructuras, además que con ello conlleva a que una de las estructuras golpeadas ganará energía, mientras que la otra perderá.

El golpeteo sísmico de losa contra columna consiste en el estudio detallado del comportamiento de los elementos estructurales en particular, aplicando modelos matemáticos, se analiza los esfuerzos y deformaciones de los elementos estructurales luego de las colisiones de las estructuras.

**Elemento GAP.** Es un elemento de brecha, que representa a través de un modelo matemático el espacio entre los edificios contiguos, el elemento se activa cuando el desplazamiento neto del edificio excede la abertura del espacio, lo que lleva a la generación de la fuerza de colisión.

**Figura 2:**

*Elemento GAP*



*Nota.* Donde *i* y *j* representa el punto de colisión del edificio izquierdo y derecho respectivamente, *d* representa la junta sísmica y *K* es la rigidez efectiva entre los puntos de colisión.

Para el cálculo de la rigidez efectiva *K*, las bases teóricas consideran 100 veces mayor que la relación *AE/L*, donde “*A*” es el área de sección transversal del elemento de contacto, “*E*” es el módulo de elasticidad del concreto y “*L*” es la longitud del elemento en la dirección perpendicular de contacto.

$$K = \frac{AE}{L} \times 100$$

**Ecuación 2:** Rigidez efectiva del elemento GAP

La fuerza de colisión generada en el elemento se puede obtener como:

$$F = \begin{cases} k((d^L + d^R) - d) & \dots \dots \dots \text{if}, ((d^L + d^R) > 0) \\ 0 & \dots \dots \dots \text{if}, ((d^L + d^R) < 0) \end{cases}$$

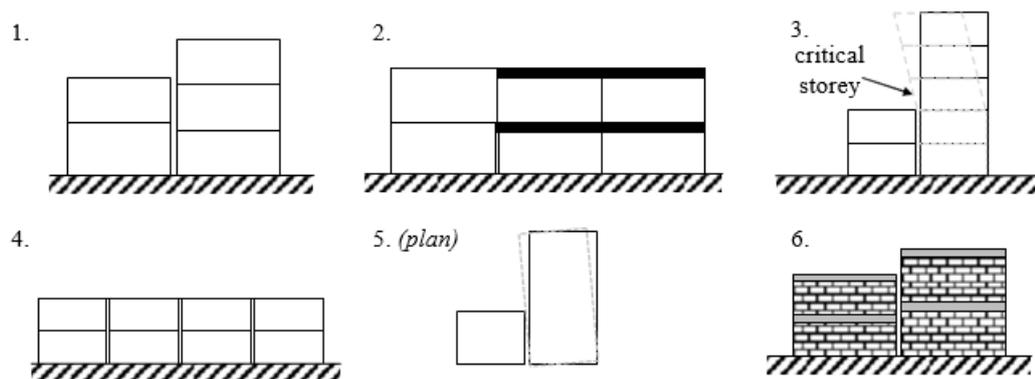
**Ecuación 3:** Rigidez efectiva del elemento GAP

Donde *d<sup>L</sup>* y *d<sup>R</sup>* representan el desplazamiento positivo del edificio izquierdo y el desplazamiento negativo del edificio derecho en el instante “*t*”.

**Configuraciones de Construcción que son Vulnerables a los Golpes.** Existen un sin fin de configuraciones de construcciones que son vulnerables ante un golpeteo sísmico, pero a continuaciones se detallaran los más críticos, las construcciones que no presentan ningún criterio de la Figura 2 tienen significativamente más probabilidad a resistir el golpeteo sísmico durante un movimiento telúrico. Sin embargo, como bien ya es de conocimiento el golpeteo sísmico generan grandes aceleraciones a los entrepisos de las edificaciones que estén involucrados a la colisión, y con ello ponen en riesgo las vidas humanas.

**Figura 3:**

*Configuraciones críticas de golpeteo estructural*



*Nota.* El grafico muestra las configuraciones más críticas del efecto Pounding. Tomado de “Building Pounding state of the art: Identifying structures vulnerable to pounding damage” (p. 1), por G.L. Cole, RP Dhakal, AJ Carr y DK Bull, 2010, *NZSEE Conference*.

**Análisis Dinámico Estructural.** Los análisis dinámicos se realizan contemplando un comportamiento lineal fuerza-desplazamiento del material en estudio; también se puede considerar un comportamiento no lineal para el caso de un análisis tiempo-historia.

Las fluctuaciones ocurren en los elementos o sistemas estructurales, esto gracias a que tienen masas, elasticidades y amortiguamientos, para realizar un análisis de la respuesta

estructural de estos elementos o sistema estructurales se inicia de algunas simplificaciones, para plantear los problemas de ingeniería de una manera más sencilla y los cuales son idóneos para fines prácticos de la ingeniería.

Los análisis dinámicos se dividen usualmente en tres grandes grupos:

- Análisis Modal Espectral.
- Análisis de Tiempo-Historia.
- Análisis en el dominio de las frecuencias.

Durante el movimiento de una edificación por la acción sísmica, las solicitaciones sobre aquella son realmente de dirección diversa. Se ha llegado a considerar que el movimiento del suelo tiene seis componentes de movimiento independientes, tres traslacionales y tres rotacionales. Dentro de estas componentes, las traslacionales en las direcciones horizontales suelen ser tomadas en cuenta, en forma independiente, para fines de tener condiciones de carga en los análisis, dado que por lo general son los más importantes.

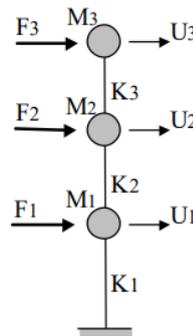
Un modelo de cortante se define como una estructura en la cual las rotaciones de una sección horizontal, al nivel de cada piso, no existen. Con esta suposición, la estructura tendrá muchas de las características de una viga en voladizo deformada únicamente por acción de fuerzas cortantes. Además, se supone que las masas de la estructura están concentradas en los niveles de piso, las vigas de techo son infinitamente rígidas comparadas con las columnas, y la deformación de la estructura es independiente de las fuerzas axiales en las columnas.

En la Figura 4 se presenta un esquema representativo de un modelo de una estructura de tres pisos. Se puede tratar el modelo como una columna simple, con masas concentradas

al nivel de cada piso, entendiendo que las masas concentradas admiten solamente traslaciones horizontales. La rigidez de un entrepiso, entre dos masas consecutivas, representa la fuerza cortante requerida para producir un desplazamiento unitario relativo entre dos pisos adyacentes.

**Figura 4:**

*Modelo de cortante para edificaciones*

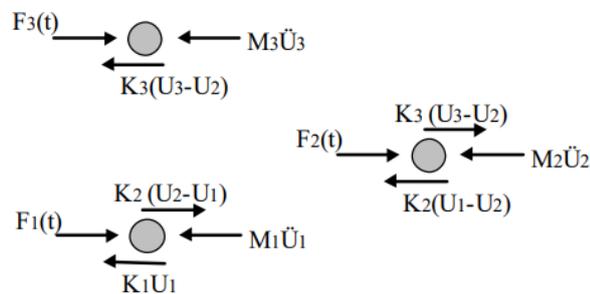


*Nota.* Adaptado de *Fundamentos del Análisis Dinámicos de Estructuras* (p. 5), por R. Salinas, 2019, CIDMID-FIC-UNI.

Asimismo, en la Figura 4 se muestran los diagramas de cuerpo libre con los que se obtienen las ecuaciones de movimiento para este modelo.

**Figura 5:**

*Diagrama de cuerpo libre del Modelo de Cortante para edificaciones*



*Nota.* Adaptado de *Fundamentos del Análisis Dinámicos de Estructuras* (p. 5), por R. Salinas, 2019, CIDMID-FIC-UNI.

Aplicando el principio de D'Alembert, se obtienen las ecuaciones de movimiento:

$$M\ddot{U} + KU = F(t)$$

**Ecuación 4:** Ecuación de movimiento sin amortiguamiento

**Figura 6:**

*Las matrices de masas y de rigidez*

$$M = \begin{pmatrix} M_1 & 0 & 0 \\ 0 & M_2 & 0 \\ 0 & 0 & M_3 \end{pmatrix}$$

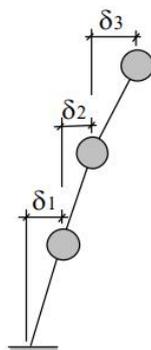
$$K = \begin{pmatrix} K_1 + K_2 & -K_2 & 0 \\ -K_2 & K_2 + K_3 & -K_3 \\ 0 & -K_3 & K_3 \end{pmatrix}$$

*Nota.* Adaptado de *Fundamentos del Análisis Dinámicos de Estructuras* (p. 6), por R. Salinas, 2019, CIDMID-FIC-UNI.

Con este modelo, apropiado para análisis sísmicos en una dirección, es fácil observar algunos términos relativos a la respuesta del sistema estructural, tales como los desplazamientos de entrepiso y los cortantes de entrepiso, relacionados entre sí con la rigidez del entrepiso respectivo, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 7:**

*Términos relativos a la respuesta estructural*



$U_i$  = desplazamiento absoluto  
 $\delta_i$  = desplazamiento relativo de entrepiso  
 $\delta_i = U_i - U_{i-1}$   
 $V_i$  = cortante de entrepiso  
 Rigidez lateral del piso i-ésimo:  
 $K_i = V_i / \delta_i$   
 Cálculo del desplazamiento relativo del piso i-ésimo:  
 $\delta_i = V_i / K_i$

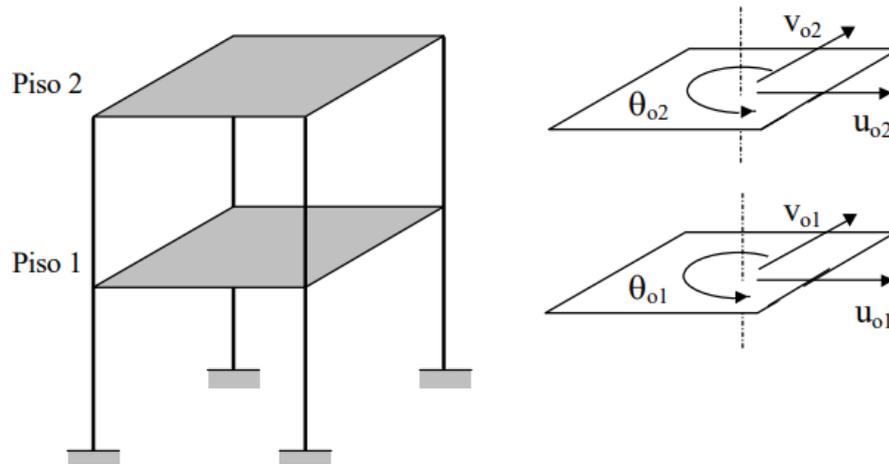
*Nota.* Adaptado de *Fundamentos del Análisis Dinámicos de Estructuras* (p. 6), por R. Salinas, 2019, CIDMID-FIC-UNI.

Una estructura espacial puede ser modelada como un ensamble de pórticos planos, con propiedades de rigidez solamente en sus planos respectivos, admitiendo que las rigideces ortogonales a sus planos son bastante menores y pueden no ser consideradas. La hipótesis fundamental es la relativa a las losas de piso, las cuales son consideradas como cuerpos rígidos que conectan a los pórticos. Para fines del análisis sísmico, los grados de libertad para las losas de piso son tres: dos traslaciones horizontales y una rotación torsional en planta. De este modo, tampoco se toman en cuenta las deformaciones axiales en las columnas.

Los análisis sísmicos pueden realizarse considerando las dos componentes horizontales del movimiento de la base y, si se trata de fuerzas estáticas equivalentes, dos fuerzas horizontales y un momento de torsión en planta por cada piso, en un punto que generalmente es el centro de masas del piso. La matriz de rigidez del sistema resulta de la suma de las rigideces laterales de cada pórtico, previamente transformadas para ser consistentes con los grados de libertad del entrepiso. El proceso en el que se realiza esta transformación se denomina Condensación Cinemática y se basa en relacionar, en un piso dado, los desplazamientos globales del entrepiso con el desplazamiento lateral de cada pórtico.

**Figura 8:**

*Modelo de análisis pseudotridimensional y sus grados de libertad*



*Nota.* Adaptado de *Fundamentos del Análisis Dinámicos de Estructuras* (p. 7), por R. Salinas, 2019, CIDMID-FIC-UNI.

Las estructuras, cuando están sujetas a cargas o desplazamientos en la base, en realidad actúan dinámicamente, es decir, desarrollan acciones opuestas al movimiento impuesto por tales cargas o desplazamientos. Si éstos son aplicados muy lentamente, las fuerzas de inercia son bastante pequeñas (al ser las aceleraciones muy bajas) y por lo tanto se puede justificar un análisis de tipo estático. Por otro lado, las estructuras son un continuo y tienen un infinito número de grados de libertad. Se han tratado anteriormente las formas de concentrar la evaluación en puntos (nudos o pisos) que son suficientes para determinar el comportamiento de la estructura y calcular sus fuerzas internas. La masa del sistema estructural es concentrada en los nudos o a nivel de los centros de masa de cada piso, según el modelo utilizado. Asimismo, si los análisis se realizan considerando que el material estructural tendrá un comportamiento elástico y lineales, las propiedades de rigidez de la estructura pueden aproximarse con un alto grado de confiabilidad, con ayuda de información experimental. Lo mismo puede asumirse para las propiedades de amortiguamiento. Las

cargas dinámicas y las condiciones en la base de la cimentación suelen ser difíciles de estimar, sobre todo en el caso de cargas sísmicas.

La ecuación fundamental de movimiento de un sistema de múltiples grados de libertad (SMGL), de masas concentradas, puede ser expresada como una función del tiempo de la forma:

$$F(t)_I + F(t)_D + F(t)_S = F(t)$$

**Ecuación 5:** Ecuación fundamental de movimiento de un SMGL.

Donde los vectores de fuerza, variables en el tiempo  $t$  son:

$F(t)_I$  : vector de acciones de inercia en las masas concentradas.

$F(t)_D$  : vector de fuerzas por amortiguamiento, supuesto como de tipo viscoso.

$F(t)_S$  : vector de fuerzas por deformación de la estructura.

$F(t)$ : vector de cargas aplicadas exteriormente.

La ecuación 5 es válida tanto para sistemas lineales como no lineales, si el equilibrio dinámico se plantea con respecto a la geometría deformada de la estructura.

Existen diversos métodos propuestos para ser empleados para la solución de la ecuación 4. Cada método tiene ventajas y desventajas, de acuerdo con el tipo de estructura y la carga. Los métodos numéricos de solución pueden clasificarse del siguiente modo:

**Método de Solución Paso a Paso Para el Análisis Dinámico.** El método de solución más completo para el análisis dinámico es un método incremental en el cual las ecuaciones van siendo resueltas en los tiempos  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ , etc. Hay un gran número de métodos de solución incremental. En general, estos métodos involucran una solución de todo el conjunto de ecuación 4 en cada incremento de tiempo. En el caso de un análisis no lineal, puede ser necesario reformular la matriz de rigidez de todo el sistema estructural para cada paso.

Además, se efectuarán iteraciones dentro de cada incremento de tiempo, para satisfacer las condiciones de equilibrio. Como los requerimientos de cómputo son significativos, estos métodos pueden emplearse para resolver sistemas estructurales con pocos cientos de grados de libertad.

Adicionalmente, en estos métodos de solución, el amortiguamiento numérico o artificial debe ser incluido, con el propósito de obtener soluciones estables. En ciertos casos de estructuras con comportamiento no lineal sujetas a movimientos en la base, es indispensable el empleo de los métodos de solución incremental.

En sistemas estructurales muy grandes, se ha encontrado que la combinación de los métodos incrementales y de superposición modal ha sido eficiente para sistemas con un pequeño número de elementos no lineales.

***Método de Superposición Modal.*** Es el método más común y efectivo de los procedimientos para el análisis sísmico de sistemas estructurales lineales. Este método, luego de evaluar un conjunto de vectores ortogonales, reduce el gran conjunto de ecuaciones generales de movimiento a un pequeño número de ecuaciones diferenciales desacopladas de segundo orden. La solución numérica de estas ecuaciones implica una gran reducción del tiempo de cómputo.

Con este método se obtiene la respuesta completa, en su variación en el tiempo, de los desplazamientos de los nudos y fuerzas en los elementos debidos a un movimiento determinado en la base.

Se ha demostrado que los movimientos sísmicos excitan a la estructura principalmente en sus frecuencias más bajas. Por lo general, las aceleraciones del terreno son registradas, en los acelerogramas digitales, con intervalos a razón de 100 o 200 puntos

por segundo. De manera que la información de las acciones sísmicas no contiene frecuencias por encima de los 50 ciclos por segundo. En consecuencia, si no se consideran las frecuencias altas y las correspondientes formas de modo en la respuesta de un sistema, no se introducirán errores.

El método tiene dos desventajas. En primer lugar, se produce una gran cantidad de información, la cual requiere un enorme esfuerzo computacional, donde se consideren todas las posibilidades de la verificación del diseño como una función de tiempo. En segundo lugar, el análisis debe repetirse para diferentes registros sísmicos - frecuentemente tres registros como mínimo - con el propósito de asegurar que todos los modos significativos sean excitados.

***Análisis Modal Espectral.*** El análisis modal espectral (o método de la respuesta espectral) es un método ventajoso para estimar los desplazamientos y fuerzas en los elementos de un sistema estructural. El método implica el cálculo solamente de los valores máximos de los desplazamientos - y las aceleraciones - en cada modo usando un espectro de diseño, el mismo que representa el promedio o la envolvente de espectros de respuesta para diversos sismos, con algunas consideraciones adicionales expuestas en los códigos de diseño. Luego se combinan estos valores máximos, por ejemplo, mediante un promedio ponderado entre la media y la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de tales valores máximos; otro método es el de la combinación cuadrática completa (método CQC), que considera además una correlación entre los valores modales máximos. De este modo, se obtienen los valores más probables de desplazamientos y fuerzas.

***Análisis en el Dominio de Frecuencias.*** Este procedimiento es empleado para resolver las ecuaciones de movimiento en el dominio de frecuencias. Para ello, las fuerzas externas  $F(t)$  son expresadas en una expansión de términos de series de Fourier o integrales

de Fourier. La solución está dada en números complejos, cubriendo el espacio de  $-\infty$  a  $\infty$ .

Este procedimiento es muy efectivo para cargas periódicas como en vibración de maquinarias, problemas de acústica, efectos de las olas de mar y de viento. Sin embargo, el uso de este método para resolver problemas de ingeniería sísmica tiene las siguientes desventajas:

- Por lo general, el entendimiento de las matemáticas involucradas en el método puede ser difícil de entender para los ingenieros. La verificación de las soluciones también podría ser difícil.
- Las acciones sísmicas no son periódicas. Sin embargo, los registros sísmicos del terreno – el movimiento de la base - pueden ser transformados al dominio de frecuencias con algoritmos especiales y, luego de realizar los análisis y las operaciones involucradas, volver a ser transformados para obtener la respuesta del sistema en el tiempo.
- Para acciones sísmicas, el método no es numéricamente eficiente.
- El método es aplicable a sistemas estructurales lineales

### *Definición de Términos*

**Efecto Pounding.** Se define como la colisión entre dos estructuras colindantes debido a las cargas sísmicas (Movimiento Telúricos),

**Junta Sísmica.** Es el espacio físico que separa a dos estructuras independientes, con la finalidad de que las estructuras tengan una respuesta estructural independiente una del otro.

**Modelo de Cortante.** Se define como una estructura en la cual las rotaciones de una sección horizontal, al nivel de cada piso, no existen.

**Elemento GAP.** Es un elemento de brecha, que representa a través de un modelo matemático el espacio entre los edificios contiguos.

**Rubber Isolator.** Son placa amortiguadora de vibración que están hechos de gránulos de cauchos de alta resistencia.

## 1.2. Formulación del problema

### *Problema General*

¿Cuáles son los cambios que genera el efecto Pounding en la respuesta estructural de tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica, ventanilla-2023?

### *Problemas Específicos*

¿De qué manera afecta el efecto Pounding en las fuerzas cortantes en la base de las tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica, ventanilla-2023?

¿De qué forma cambian los desplazamientos totales y derivas de entrepisos a causa del efecto Pounding en las tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica, ventanilla-2023?

¿Cuáles son las magnitudes de las fuerzas de impacto originado por el efecto Pounding en las tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica, ventanilla-2023?

¿En qué medida son eficientes los amortiguadores en el control de golpes sísmicos, ocasionado por el efecto Pounding en las tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica, ventanilla-2023?

### 1.3. Objetivos

#### *Objetivo General*

Determinar una propuesta de evaluación del efecto Pounding en la respuesta estructural de tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica.

#### *Objetivos Específicos*

Determinar las fuerzas cortantes en la base que genera el efecto Pounding en las tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica.

Determinar los desplazamientos totales y derivas causadas por el efecto Pounding entre las tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica.

Determinar la magnitud de las fuerzas de impacto originado por el efecto Pounding en las tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica.

Determinar la eficiencia de los amortiguadores en el control de golpes sísmicos, ocasionado por el efecto Pounding en las tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica.

## 1.4. Hipótesis

### *Hipótesis General*

Los cambios que genera el efecto Pounding en la respuesta estructural de tres edificaciones multifamiliares colindantes son: el incremento de las fuerzas cortantes en la base, aumento de los desplazamientos totales y derivas de los entrepisos, así también las magnitudes de las fuerzas de impacto son valores considerablemente altos.

### *Hipótesis Específicos*

El efecto Pounding provoca el aumento de las fuerzas cortantes en la base de las tres edificaciones multifamiliares colindantes, considerando que existe una insuficiente junta sísmica.

Los desplazamientos totales y derivas de entrepisos a causa del efecto Pounding en las tres edificaciones multifamiliares colindantes aumentan en sus valores, considerando que existe una insuficiente junta sísmica.

Las magnitudes de las fuerzas de impacto originado por el efecto Pounding en las tres edificaciones multifamiliares colindantes son valores considerablemente altos, considerando que existe una insuficiente junta sísmica.

La eficiencia de los amortiguadores en el control de golpes sísmicos, ocasionado por el efecto Pounding en las tres edificaciones multifamiliares colindantes son porcentualmente altos, considerando que existe una insuficiente junta sísmica.

### **1.5. Justificación de la Investigación**

La presente investigación, tiene por finalidad ampliar el conocimiento acerca del Golpeteo sísmico (efecto Pounding) en edificaciones multifamiliares colindantes, ya que el tema no es estudiado en su plenitud, y no es un problema ajeno por ocurrir cuando se presente un movimiento sísmico, es por ello por lo que la presente investigación plantea estudiar el efecto, con aquello conocer la manera en cómo puede ser afectada las edificaciones en su respuesta estructural debido al golpe sísmico. El presente estudio se hace porque se desea brindar información y conocimiento acerca de cómo es que ocurren estos efectos, las causas, las consecuencias y control, además que se debería de tener en consideración para las concepciones de las edificaciones, para así prevenir a las futuras edificaciones a no sufrir estos efectos y a las existentes plantear alternativas de solución.

El aporte que brinda la presente investigación es dar a conocer de qué manera influye el efecto Pounding, en la respuesta estructural de las tres edificaciones multifamiliares colindantes, es decir, como se verán afectados los parámetros globales de la edificación, como la fuerza cortante en la base, desplazamientos totales y relativos de entrepiso y la magnitud de las fuerzas de colisión entre estructuras, además para el control de los golpes sísmicos se medirá la eficiencia de amortiguadores, incorporados en las juntas sísmicas.

Los beneficiados con esta investigación serían las personas que ocupan edificaciones en estado vulnerable (con una junta sísmica insuficiente), todo profesional que se dedique a al análisis y diseño de las edificaciones, así también los profesionales consultores de edificaciones el cual tenga problemas relacionado al efecto Pounding y que requieren alternativas de solución para evitar del mismo, por último los profesionales que se dedican a la investigación sobre el comportamiento de las edificaciones ante un movimientos sísmicos.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1. Enfoque de Investigación**

Según Hernández et al. (2014) el enfoque cuantitativo “es la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías”. Este estudio es cuantitativo porque se realizarán mediciones numéricas, es decir, se revisarán los cambios que resulte en la respuesta estructural (parámetros globales) de las tres edificaciones colindantes a causa del efecto Pounding.

### **2.2. Tipo de Investigación**

#### ***Según el Nivel de Investigación***

Según el nivel, la investigación es del tipo explicativo, Hernández et al. (2014) afirma que los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos, fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno, en qué condiciones se manifiesta y por qué se relacionan dos o más variables. El presente estudio de investigación presenta un nivel explicativo, debido a que se pretende explicar las causas de los cambios en la respuesta estructural (parámetros globales) de las tres edificaciones multifamiliares colindantes, con la consideración del efecto Pounding (golpe sísmico).

#### ***Según el Propósito de Investigación***

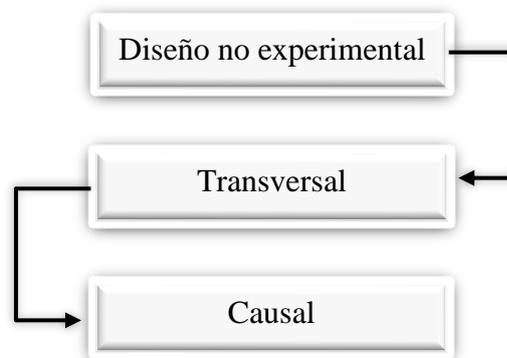
Según el propósito, la investigación es del tipo aplicada, ya que la presente investigación tiene como propósito hacer el uso de las bases teóricas y aplicarlo, para así brindar una explicación acerca del Golpeteo sísmico (efecto Pounding) en edificaciones multifamiliares colindantes, ya que el tema no es estudiado en su plenitud en Perú.

### ***Según el Diseño de Investigación***

Según el diseño, la investigación es del tipo no experimental, el diseño no experimental es definida por Hernández et al (2014) “como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables”. Este estudio además es un diseño transversal causal, ya que los datos recopilados son en un momento único y se busca evaluar las vinculaciones causales de las variables en estudio.

#### **Figura 9:**

##### *Diseño de investigación*



*Nota.* Diseño no experimental del tipo transversal causal.

### **2.3. Población y Muestra**

#### ***Población***

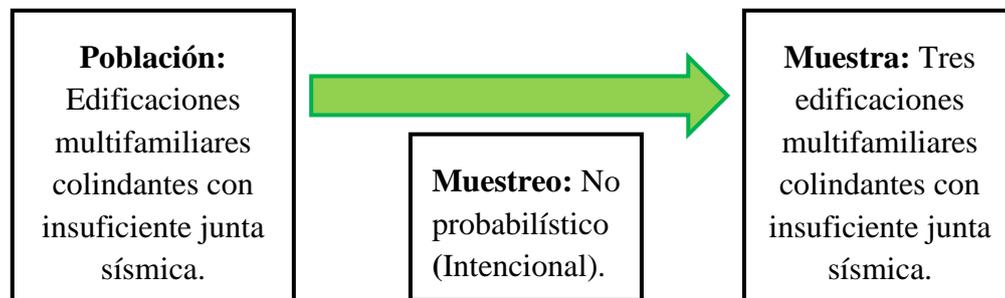
Tamayo (1991) considera que la población es “la totalidad del fenómeno a estudiar en donde las unidades de población poseen una característica común, la cual se estudia y da origen los datos de la investigación”. En este sentido la presente investigación tiene como población a las edificaciones multifamiliares colindantes con insuficiente junta sísmica.

## ***Muestra***

Hernández et al (2014) define a la muestra como “un subgrupo de la población, es decir es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que se llama población”. Para la presente investigación, se toma como muestra a tres edificaciones multifamiliares colindantes con insuficiente junta sísmica, en el distrito de Ventanilla, pero teniendo en consideración que es una muestra no probabilística, además que es un muestreo intencional, ya que no se hizo el uso de un orden aleatorio específico para seleccionar, por ende no se pretende que la muestra sea estadísticamente representativo de la población; en este sentido, Arias (1999) define que la muestra no probabilística es un “procedimiento de selección en el que se desconoce la probabilidad que tienen los elementos de la población para integrar la muestra”.

### **Figura 10:**

#### *Población y muestra*



*Nota.* Esquema para la obtención de la muestra a estudiar.

## 2.4. Operacionalización de Variables

**Tabla 1:**

*Matriz de operacionalización de variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Efecto Pounding	Se define como la colisión entre dos estructuras colindantes, generada por las cargas sísmicas, esto a causa de la insuficiente junta sísmica que presentan las edificaciones.	Se obtendrán las magnitudes de las fuerzas de impacto entre las edificaciones colindantes.	Elemento GAP	Magnitud de las fuerzas de impacto (ton).	Razón
Respuesta estructural (Parámetros globales)	Son condiciones que se deben de verificar a toda edificación con un análisis sísmico, según la Norma técnica E.030 Diseño sismorresistente.	Se obtendrán las fuerzas cortantes en la base y entrepisos, desplazamientos totales y derivas de entrepiso.	Modelamiento estructural  Análisis sísmico	Modelos de elementos estructurales (m). Modelo matemático del sistema estructural (m). Periodo fundamental de la estructura (seg). Fuerzas cortantes en la base y entrepisos (ton). Desplazamientos totales (cm). Derivas de entrepiso (cm/cm).	Razón

## 2.5. Técnicas e Instrumentos

Arias (1999) define que las técnicas de recolección de datos “son las distintas formas o maneras de obtener la información”, así mismo los instrumentos “son los medios materiales que se emplean para recoger y almacenar la información”.

### *Técnicas de Recolección de Datos*

**Observación.** Esta técnica de recolección permitirá obtener información necesaria para realizar el análisis de la respuesta estructural de las tres edificaciones colindantes, dicha información se adquirirá a través de un levantamiento en campo de las medidas reales de los elementos estructurales de las edificaciones, además de observar los tipos de sistemas estructurales.

**Revisión de Registro.** Esta técnica de recolección servirá para conseguir información de las características del suelo, haciendo uso de la internet.

### *Instrumento de Recolección de Datos*

**Matriz de Recolección de Datos.** Presentará toda la información de las características de las tres edificaciones colindantes, que serán necesarios para desarrollar los análisis correspondientes.

**Tabla 2:**

*Matriz de recolección de datos*

<b>Descripción</b>	<b>Edificio A</b>	<b>Edificio B</b>	<b>Edificio C</b>
Número de pisos	4	5	3
Área	200 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>	200 m <sup>2</sup>
Espesor de junta sísmica	2.5 cm	2.5 cm	2.5 cm
Altura de entrepiso	2.70 m	2.70 m	2.70 m
Zona sísmica (Z)	Zona IV	Zona IV	Zona IV
Categoría de edificación	C	C	C
Factor de Uso (U)	1	1	1
Tipo de suelo (S)	S2	S2	S2
Tipo de cimentación	Zapatatas aisladas	Zapatatas aisladas	Zapatatas aisladas
Sistema estructural en la dirección X	Albañilería confinada	Albañilería confinada	Albañilería confinada
Sistema estructural en la dirección Y	Albañilería confinada	Albañilería confinada	Albañilería confinada
Coficiente básico de reducción en la dirección X (Rox)	Rox = 3	Rox = 3	Rox = 3
Coficiente básico de reducción en la dirección Y (Roy)	Roy = 3	Roy = 3	Roy = 3
Espesor de losa aligerada	20cm	20cm	20cm
Sección de vigas	0.30m x 0.50m 0.30m x 0.40m	0.30m x 0.50m 0.30m x 0.40m	0.30m x 0.45m 0.30m x 0.40m
Sección de columnas rectangulares	0.30m x 0.40m	0.30m x 0.40m	0.25m x 0.40m
Diámetro de columnas circulares	-	0.40 m	-
Espesor de muros (albañilería confinada)	e = 0.15m	e = 0.15m	e = 0.15m

## 2.6. Materiales

**Tabla 3:**

*Materiales*

<b>Tipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
Laptop	1	Und
Microsoft Word	1	Und
Microsoft Excel	1	Und
Etabs	1	Und
OpenOffice	1	Und
Internet	50	Mbps

## 2.7. Procedimiento de Tratamiento

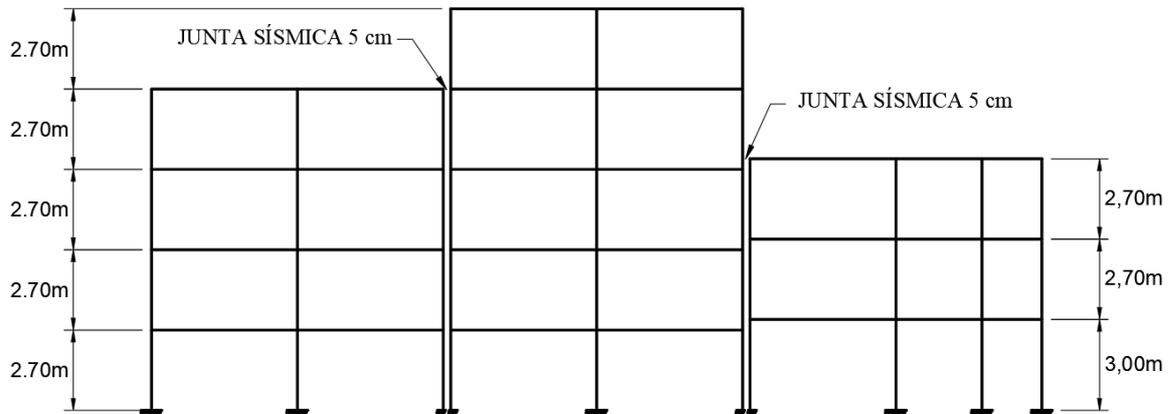
Se selecciono como muestra de investigación tres edificaciones colindantes, y con la ayuda del instrumento de recolección de datos se pudo obtener las características de las edificaciones, lo que se aparecía en la matriz de recolección de datos. Posterior al trabajo en campo que consistió en la toma de datos, se procede al trabajo en gabinete, que consiste en el modelamiento de los elementos estructurales y del sistema estructural de cada edificación, tanto individualmente y como juntas, para ello se hará uso como herramienta al programa Etabs Nonlinear de la empresa Computer & Structures Inc. En su versión 19.1.0 del año 2021.

Se uso un modelo matemático en 3D conformado por barras que transfieren cargas axiales, fuerzas de corte y momentos flectores de acuerdo con la dirección de análisis predominante, y elementos laminares que simulen las losas de modo que tomen momentos flectores en el plano de la losa y cortantes perpendiculares al plano medio.

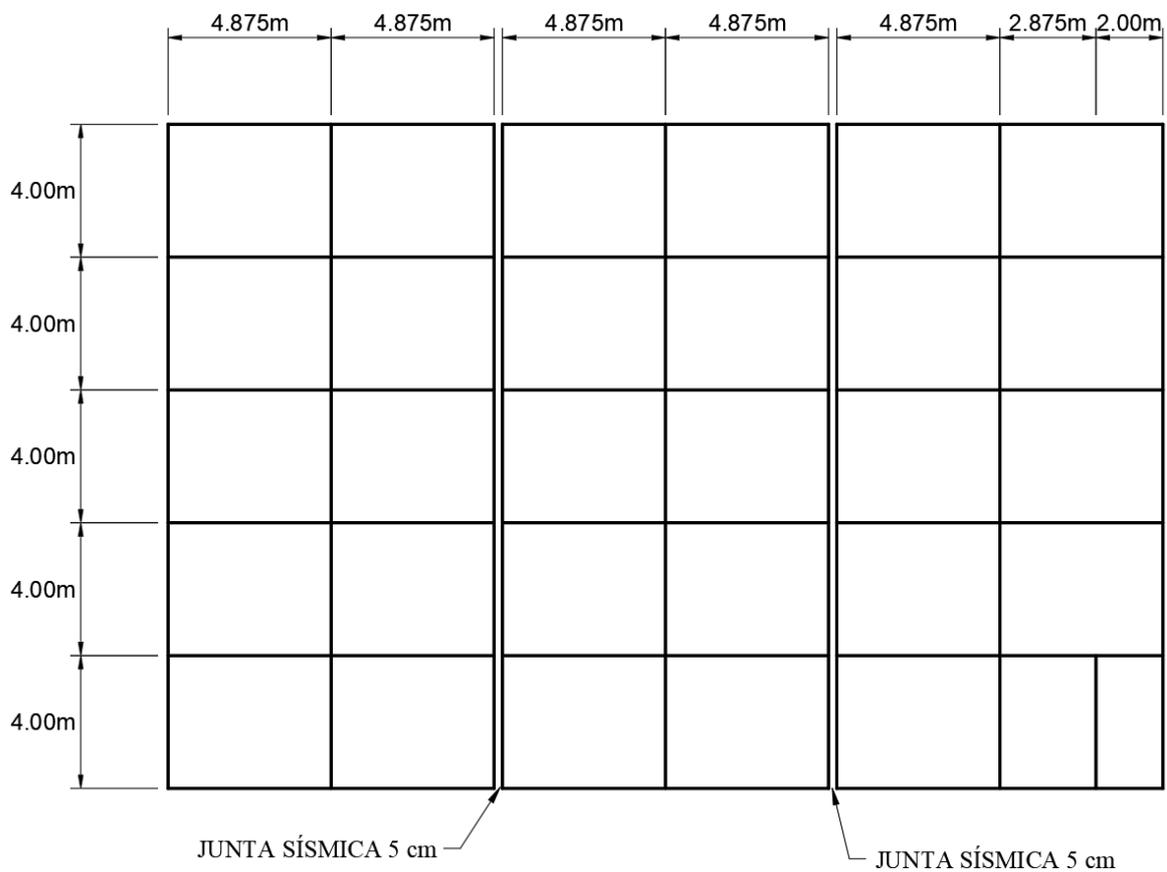
Consta de tres edificaciones adyacentes entre sí, con diferentes alturas. El edificio de lado izquierdo es de 4 pisos, el del centro es de 5 pisos y de lado derecho es de 3 pisos. Los edificios son considerados del sistema estructural de muros de albañilería confinada en ambas direcciones y son de uso multifamiliares, estas son idealizadas como se aprecia en la siguiente figura.

**Figura 11:**

*Idealización de las tres edificaciones multifamiliares colindantes.*



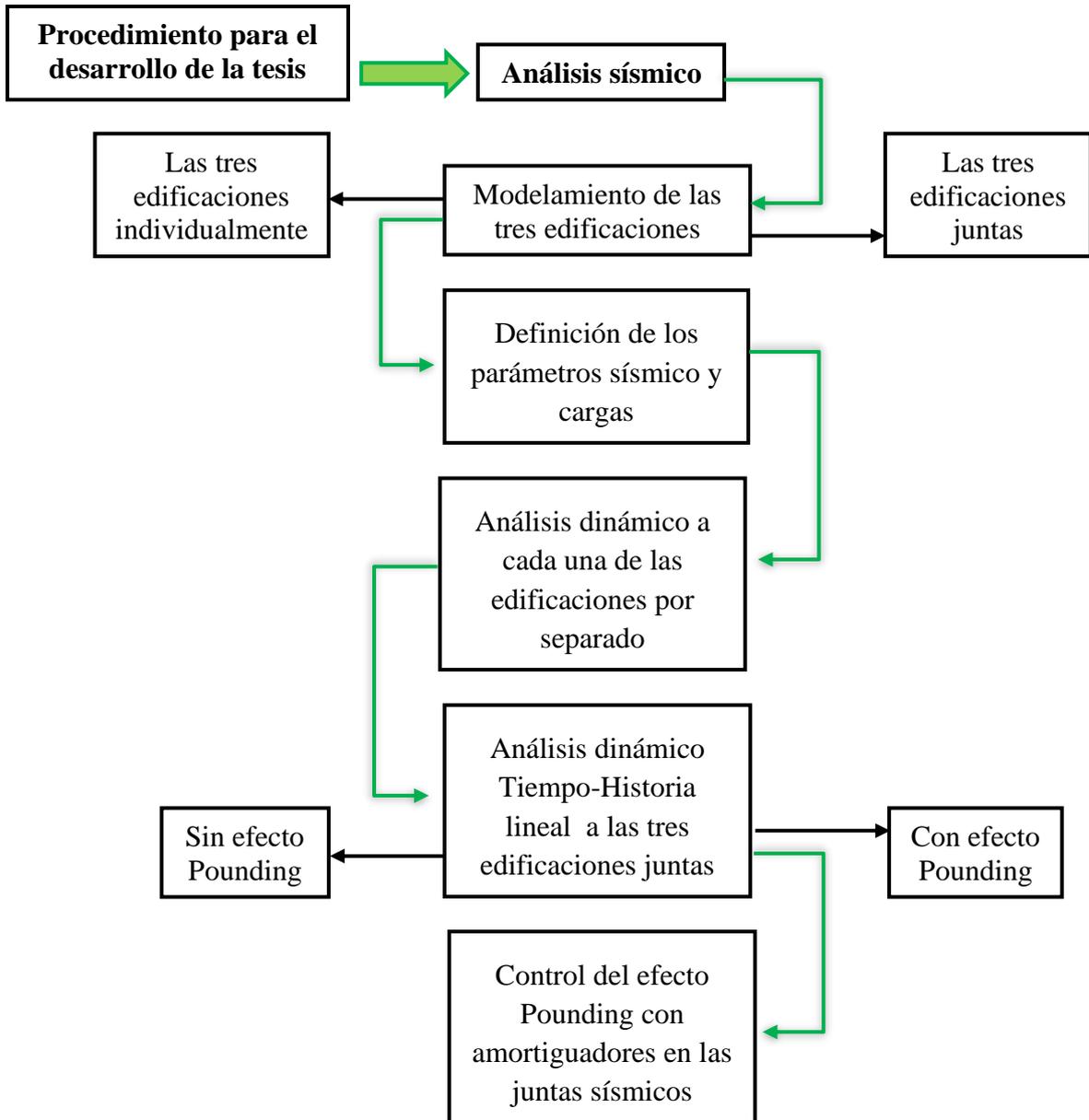
Vista en elevación



Vista en planta

**Figura 12:**

*Procedimiento para el desarrollo de la tesis*



### *Modelamiento de las tres edificaciones*

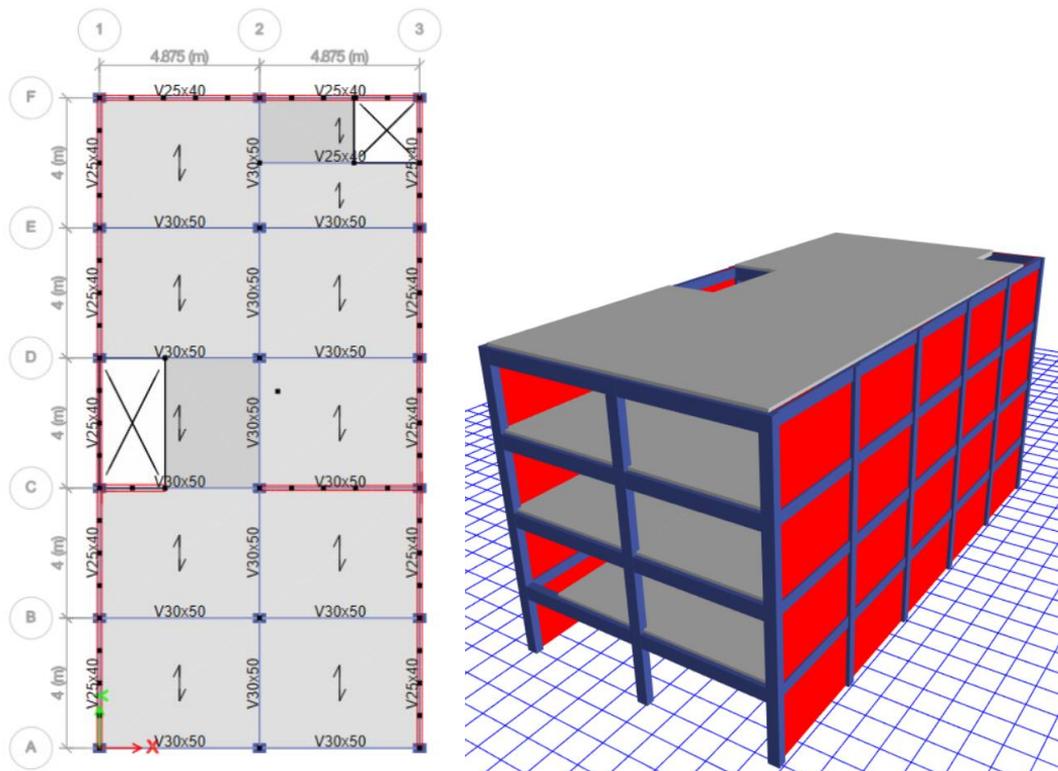
**Modelamiento del Edificio A.** La estructura es en su totalidad de concreto armado y albañilería confinada, está conformado por muros de albañilería confinada, columnas y vigas peraltadas de 50cm. Presenta un piso típico desde el primer al cuarto piso, es una estructura aporricada conformada por muros de albañilería confinada, columnas y vigas de concreto armado, además con techos de losa aligerada.

Las losas aligeradas son del tipo común de 20cm de espesor, conformada por viguetas espaciadas cada 40cm y de 10cm de espesor, los ladrillos de techo son de arcilla.

La estructura es un sistema estructural de muros de albañilería confinada en ambas direcciones, para el caso de la regularidad estructural tanto en altura como en planta son regulares, por ende, los factores de irregularidad son:  $I_p = 1$  y  $I_a = 1$ .

**Figura 13:**

#### *Modelamiento del edificio A*



*Nota.* Vista en planta del piso típico y 3D del modelo de la edificación A de cuatro niveles.

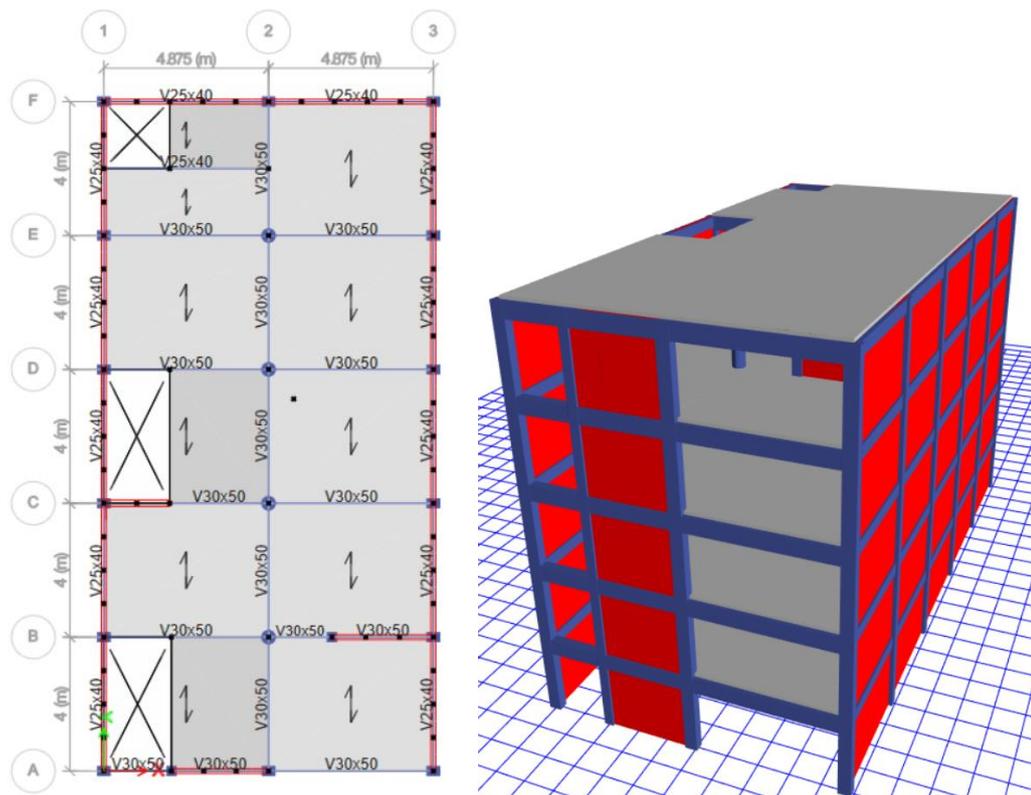
**Modelamiento del Edificio B.** La estructura es en su totalidad de concreto armado y albañilería confinada, está conformado por muros de albañilería confinada, columnas y vigas peraltadas de 50cm. Presenta un piso típico desde el primer al quinto piso, es una estructura aporricada conformada por muros de albañilería confinada, columnas y vigas de concreto armado, además con techos de losa aligerada.

Las losas aligeradas son del tipo común de 20cm de espesor, conformada por viguetas espaciadas cada 40cm y de 10cm de espesor, los ladrillos de techo son de arcilla.

La estructura es un sistema estructural de muros de albañilería confinada en ambas direcciones, para el caso de la regularidad estructural tanto en altura como en planta son regulares, por ende, los factores de irregularidad son:  $I_p = 1$  y  $I_a = 1$ .

**Figura 14:**

*Modelamiento del edificio B*



*Nota.* Vista en planta del piso típico y 3D del modelo de la edificación B de cinco niveles.

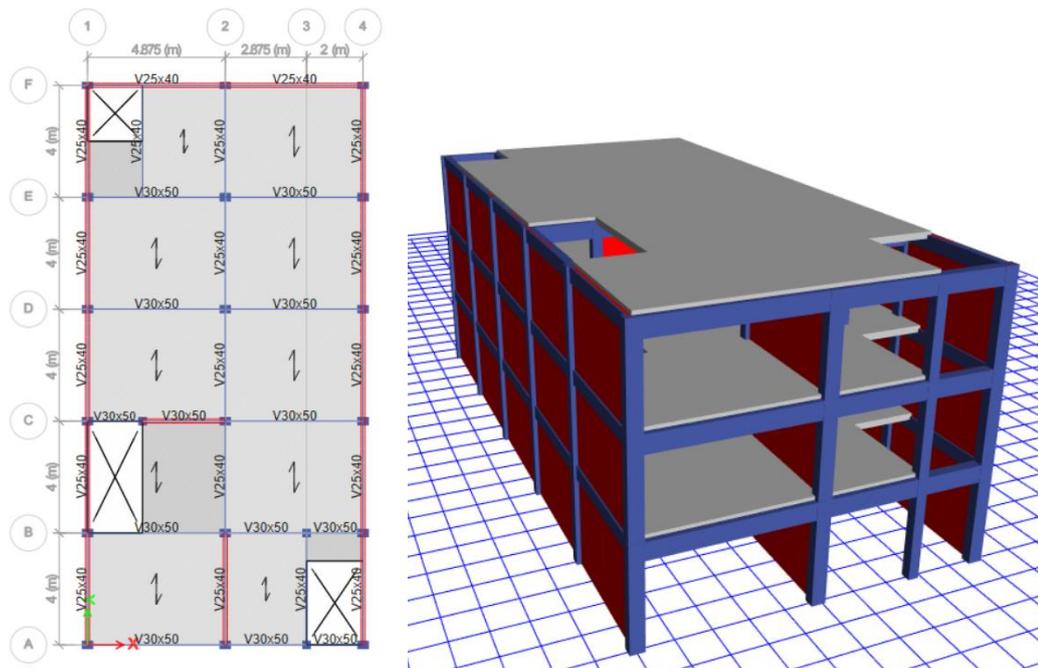
**Modelamiento del Edificio C.** La estructura es en su totalidad de concreto armado y albañilería confinada, está conformado por muros de albañilería confinada, columnas y vigas peraltadas de 45cm. Presenta un piso típico desde el primer al tercer piso, es una estructura aporricada conformada por muros de albañilería confinada, columnas y vigas de concreto armado, además con techos de losa aligerada.

Las losas aligeradas son del tipo común de 20cm de espesor, conformada por viguetas espaciadas cada 40cm y de 10cm de espesor, los ladrillos de techo son de arcilla.

La estructura es un sistema estructural de muros de albañilería confinada en ambas direcciones, para el caso de la regularidad estructural tanto en altura como en planta son regulares, por ende, los factores de irregularidad son:  $I_p = 1$  y  $I_a = 1$ .

**Figura 15:**

*Modelamiento del edificio C*

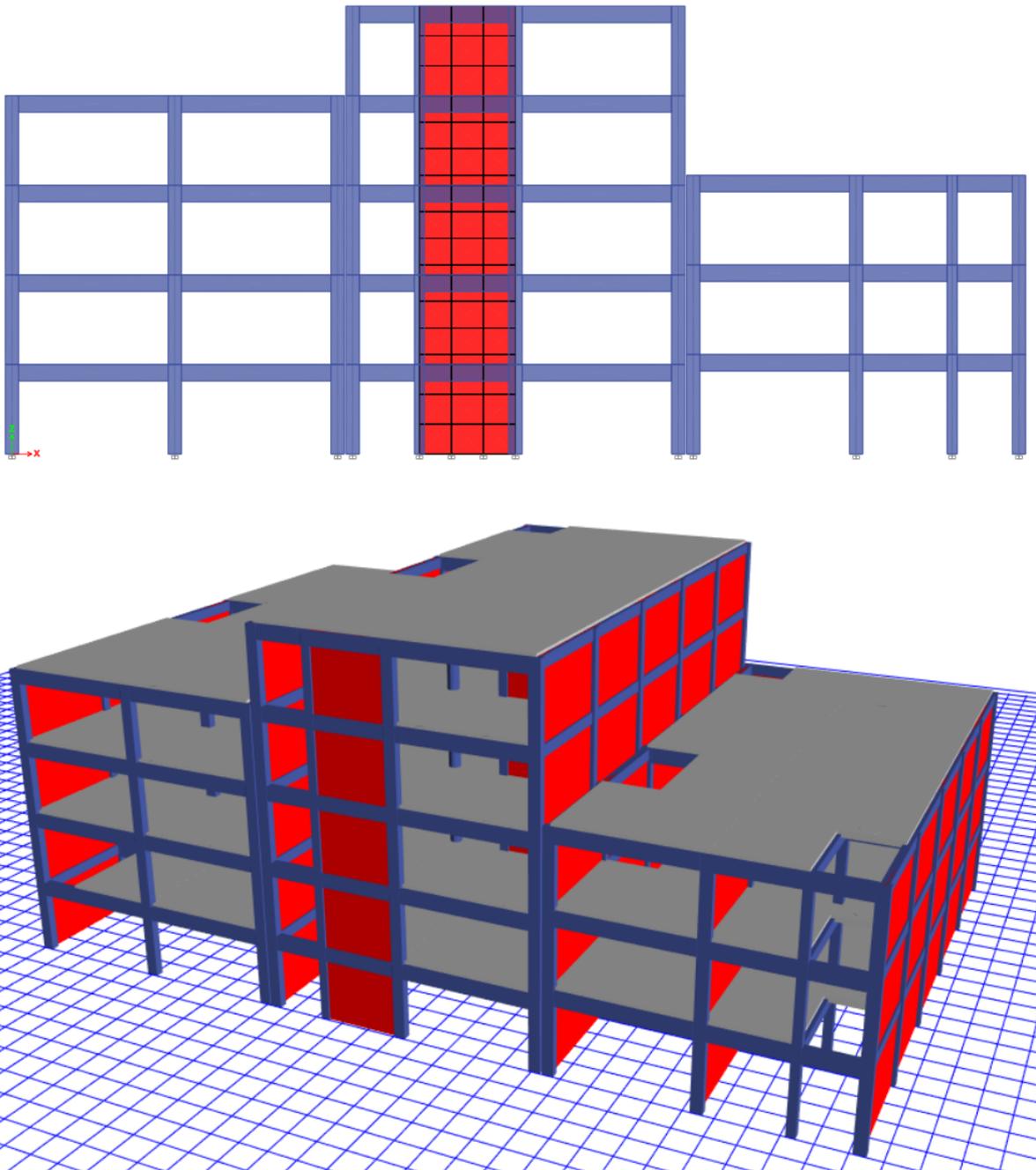


*Nota.* Vista en planta del piso típico y 3D del modelo de la edificación C de tres niveles.

**Modelamiento de los Tres Edificios Juntos.** Se presenta el modelamiento con la finalidad de unir a las tres edificaciones contiguas, en ello aplicar el elemento GAP en las juntas sísmicas y analizar la respuesta sísmica de las estructuras.

**Figura 16:**

*Modelamiento de las tres edificaciones juntas*



*Nota.* Vista de los modelos en elevación y 3D de las tres edificaciones juntas.

### ***Definición de Cargas y los Parámetros Sísmicos***

Los parámetros sísmicos y cargas que se mencionan a continuación son aplicados a cada una de las edificaciones individualmente, con ello se revisará el análisis estructural y el diseño sismorresistente según el RNE R.030, las cargas usadas fueron las siguientes:

**Carga Muerta.** Se consideró el peso propio de los materiales que conforman a la edificación, además se adicionan las cargas transmitidas por otros elementos como acabados, cielorrasos y tabiquerías.

Concreto armado	: 2400.00 kg/m <sup>3</sup>
Muro de albañilería confinada	: 1800.00 kg/m <sup>3</sup>
Tabiquería	: 150.00 kg/m <sup>2</sup>
Acabados	: 100.00 kg/m <sup>2</sup>

**Carga Viva.** Se usará los valores que se establecen en NTE 0.20-Tabla 1 de acuerdo con el tipo de ocupación o uso de las edificaciones.

Vivienda	: 200.00 kg/m <sup>2</sup>
Corredor	: 200.00 kg/m <sup>2</sup>
Escalera	: 200.00 kg/m <sup>2</sup>
Techo	: 100.00 kg/m <sup>2</sup>

**Carga Sísmica en Ambas Direcciones.** Estas cargas se asignaron a la estructura de modo que este considerado como una aceleración espectral, para el diseño sismorresistente de las edificaciones se ha considerado los siguientes datos:

Zona sísmica (Z)	: Z = 0.45g (Zona 4)
Factor de uso (U)	: U = 1.00 (Edificaciones comunes)
Perfil de suelo (S)	: S2 = 1.05 (Suelos Intermedios)
Parámetros de sitio (Tp, TL)	: Tp= 0.60s TL= 2.00s
Coefficiente básico de reducción (Ro)	: 3.00 (Muros de albañilería confinada)
Irregularidad en Planta (Ip)	: 1.00 (Regular)

Irregularidad en Altura (Ia) : 1.00 (Regular)

Coefficiente de reducción de la fuerza sísmica (R) : R = 3.00

Factor de amplificación sísmica (C) : Si  $T < T_p$ ;  $C = 2,50$

Si  $T_p < T < T_L$ ;  $C = 2,5 \frac{T_p}{T}$

Si  $T > T_L$ ;  $C = 2,5 \frac{T_p \cdot T_L}{T^2}$

$$S_a = \frac{ZUSC}{R} g$$

### Ecuación 6: Aceleración Espectral

**Tabla 4:**

*Tabla de Aceleración Espectral y Periodo*

C	T (seg)	Sa (m/s <sup>2</sup> )
2,500	0.00	3.863
2,500	0.10	3.863
2,500	0.20	3.863
2,500	0.30	3.863
2,500	0.40	3.863
2,500	0.50	3.863
2,500	0.60	3.863
2,143	0.70	3.311
1,875	0.80	2.897
1,667	0.90	2.575
1,500	1.00	2.318
1,364	1.10	2.107
1,250	1.20	1.931
1,154	1.30	1.783
1,071	1.40	1.655
1,000	1.50	1.545
0,938	1.60	1.449
0,882	1.70	1.363
0,833	1.80	1.288
0,789	1.90	1.220
0,750	2.00	1.159
0,680	2.10	1.051
0,620	2.20	0.958
0,521	2.40	0.805
0,444	2.60	0.686
0,383	2.80	0.591

**Figura 17:**

*Gráfico de Espectro de Respuesta*



### *Análisis Dinámico Individualmente*

**Análisis Dinámico del Edificio A.** Luego de realizar el modelamiento e incorporación de las cargas vivas, muerta y sísmicas, se procede a extraer los datos del análisis estructural y revisión sismorresistente.

**Periodos y Participación de Masa.** Formas de modo mínimas requeridas por norma, porcentaje de masa de cada modo.

**Tabla 5:**

*Periodos y participación de masa para el edificio A*

<b>Modo</b>	<b>T (seg)</b>	<b>%/Masa X</b>	<b>%/Masa Y</b>
1	0.222	71.96%	0.10%
2	0.132	3.84%	59.29%
3	0.123	5.66%	26.89%
4	0.069	11.85%	0.01%
5	0.045	0.54%	6.16%
6	0.042	0.68%	3.38%
7	0.040	0.01%	0.04%
8	0.040	2.41%	0.00%
<b>Total</b>		<b>96.95%</b>	<b>95.87%</b>

**Fuerzas Cortantes en la Base y Cada Nivel.** Son generadas por las cargas sísmicas.

**Tabla 6:**

*Fuerzas cortantes en la dirección X para el edificio A*

<b>Nivel</b>	<b>Vx (ton)</b>	<b>Vy (ton)</b>	<b>Mx (ton-m)</b>	<b>My (ton-m)</b>
4	89.30	13.08	33.09	226.29
3	158.35	24.21	96.62	640.19
2	204.18	32.01	180.99	1175.70
1	225.49	36.11	276.64	1770.46

**Tabla 7:**

*Fuerzas cortantes en la dirección Y para el edificio A*

<b>Nivel</b>	<b>Vx (ton)</b>	<b>Vy (ton)</b>	<b>Mx (ton-m)</b>	<b>My (ton-m)</b>
4	13.33	88.19	222.33	33.32
3	24.46	163.79	651.64	97.26
2	32.02	217.29	1224.49	181.59
1	36.11	245.03	1874.69	277.24

**Máximos Desplazamientos.** Desplazamientos máximos de dos puntos extremos, además son para verificar el efecto torsional.

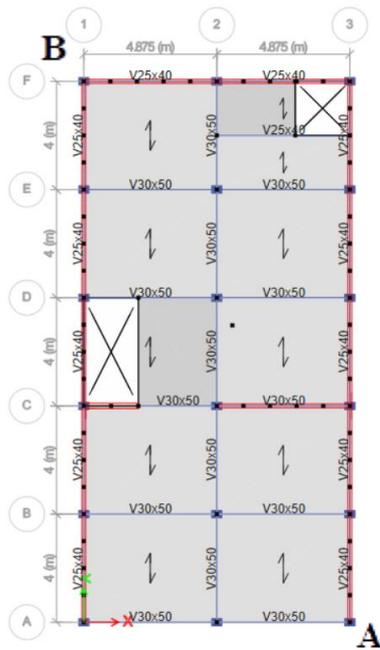
**Tabla 8:**

*Máximos desplazamientos en el edificio A*

Nivel	Extremo Max. (A)		Extremo Max. (B)	
	Dx (cm)	Dy (cm)	Dx (cm)	Dy (cm)
4	0.927	0.222	0.355	0.194
3	0.742	0.190	0.283	0.166
2	0.490	0.137	0.188	0.119
1	0.210	0.070	0.083	0.060
Base	0.000	0.000	0.000	0.000

**Figura 18:**

*Puntos extremos máximos en el edificio A*



**Desplazamientos Relativos Extremos en la Direccion Predominante.** Si el promedio de los desplazamientos relativos máximos es menor que 0.0035 (para concreto armado) y 0.0025 (para muros de albañilería) no tiene sentido hablar de irregularidad torsional. Si ocurriese lo contrario, se debe verificar que el desplazamiento relativo máximo entre un punto lateral con respecto al desplazamiento relativo de su punto opuesto del edificio, no sea mayor a 1.30 veces para que no exista irregularidad torsional. En la tabla se muestran los puntos donde se obtienen los desplazamientos máximos en todos los niveles, para luego hallar los desplazamientos relativos máximos.

Analizado en la dirección X

**Tabla 9:**

*Irregularidad torsional en la dirección X del edificio A*

Nivel	Lateral (A)		Opuesto (B)		1,3Dcm	
	Dmax (cm)	DR	Dmin (cm)	DR		
4	0.927	0,0015	0.355	0,0006	0,0008	sin torsión
3	0.742	0,0021	0.283	0,0008	0,0010	sin torsión
2	0.490	0,0023	0.188	0,0009	0,0011	sin torsión
1	0.210	0,0017	0.083	0,0007	0,0009	sin torsión
0	0.000					
	<b>Prom.</b>	<b>0,0019</b>				

*Nota.* No existe irregularidad por torsión.

Analizado en la dirección Y

**Tabla 10:**

*Irregularidad torsional en la dirección Y del edificio A*

Nivel	Lateral (A)		Opuesto (B)		1,3Dcm	
	Dmax (cm)	DR	Dmin (cm)	DR		
4	0.222	0,0003	0.194	0,0002	0,0003	sin torsión
3	0.190	0,0004	0.166	0,0004	0,0005	sin torsión
2	0.137	0,0006	0.119	0,0005	0,0006	sin torsión
1	0.070	0,0006	0.060	0,0005	0,0007	sin torsión
0	0.000					
	<b>Prom.</b>	<b>0,0005</b>				

*Nota.* No existe irregularidad por torsión.

**Desplazamiento Máximos y Relativos.** Obtenidos los resultados en cuanto a los desplazamientos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas, se procede al cálculo de los desplazamientos laterales inelásticos multiplicando por  $0.75 \cdot R$  si es regular y por  $0.85 \cdot R$  si es irregular.

Se halla los desplazamientos relativos de entrepiso y las derivas para verificar que se cumpla con el artículo 15.1 de NTE E.030, que define como deriva máxima 0.005 para estructuras de albañilería, 0.007 para estructuras de concreto armado, 0.01 para estructuras de acero.

Se procede a realizar el análisis en la dirección X y en la dirección Y.

Desplazamientos calculados en la dirección X y analizado en el punto A.

**Tabla 11:**

*Desplazamientos máximos y derivas en la dirección X para el edificio A*

	<b>Dx (cm)</b>	<b>R.D (cm)</b>	<b>H entrepiso</b>	<b>Deriva X</b>	
4	0.927	2,08	270,00	0,0015	Niv-4
3	0.742	1,67	270,00	0,0021	Niv-3
2	0.490	1,10	270,00	0,0023	Niv-2
1	0.210	0,47	270,00	0,0017	Niv-1
0	0.000	0,00		0,0000	Base

Desplazamientos calculados en la dirección Y, analizado en el punto A.

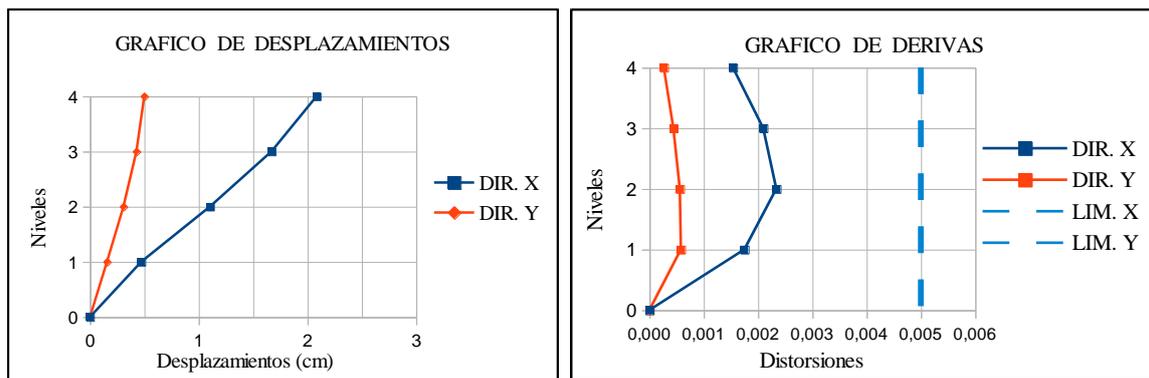
**Tabla 12:**

*Desplazamientos máximos y derivas en la dirección Y para el edificio A*

	<b>Dy (cm)</b>	<b>R.D (cm)</b>	<b>H entrepiso</b>	<b>Deriva X</b>	
4	0.222	0,50	270,00	0,0003	Niv-4
3	0.190	0,43	270,00	0,0004	Niv-3
2	0.137	0,31	270,00	0,0006	Niv-2
1	0.070	0,16	270,00	0,0006	Niv-1
0	0.000	0,00		0,0000	Base

**Figura 19:**

*Desplazamientos máximos y derivas para el edificio A*



Entonces los máximos desplazamientos obtenidos son:

**Tabla 13:**

*Resumen de los desplazamientos y derivas máximas para la edificación A*

	X	Y	
d	2,08cm	0,50cm	Desplazamientos máximos del último nivel
dr	0,0023	0,0006	Derivas máximas de un entrepiso
Dr	0,005	0,005	Máximo normado

**Junta de Separación Sísmica.** Según la NTE E 0.30, para evitar el contacto durante un movimiento sísmico, toda estructura debe estar separada de las estructuras vecinas una distancia mínima  $s$ .

**Tabla 14:**

*Junta sísmica en ambas direcciones para la edificación A*

<b>Dirección Y</b>		
Máx. desplazamiento (dmax)	0,54cm	
Altura máxima (hmax)	1080,0cm	Medido desde el nivel de terreno
$S1 = 0.006 (hmax)$	6,48cm	
$S2 = (2 \cdot dmax)/3$	0,36cm	
$Smin = S/2$	<b>3,24cm</b>	Separación mínima del límite de propiedad.
<b>Dirección X</b>		
Máx. desplazamiento (dmax)	1,91cm	
Altura máxima (hmax)	1080,0cm	Medido desde el nivel de terreno
$S1 = 0.006 \cdot hmax$	6,48cm	
$S2 = (2 \cdot dmax)/3$	1,27cm	
$Smin = S/2$	<b>3,24cm</b>	Separación mínima del límite de propiedad.

**Análisis Dinámico del Edificio B.** Luego de realizar el modelamiento e incorporación de las cargas vivas, muerta y sísmicas, se procede a extraer los datos del análisis estructural y revisión sismorresistente.

**Periodos y Participación de Masa.** Formas de modo mínimas requeridas por norma, porcentaje de masa de cada modo.

**Tabla 15:**

*Periodos y participación de masa en el edificio B*

Modo	T (seg)	%/Masa X	%/Masa Y
1	0.268	75.91%	0.07%
2	0.164	0.94%	71.34%
3	0.146	2.55%	12.87%
4	0.082	13.62%	0.01%
5	0.055	0.10%	9.19%
6	0.050	0.50%	1.76%
7	0.045	3.52%	0.01%
8	0.040	0.00%	0.01%
<b>Total</b>		<b>97.14%</b>	<b>95.26%</b>

**Fuerzas Cortantes en la Base y Cada Nivel.** Son generadas por las cargas sísmicas.

**Tabla 16:**

*Fuerzas cortantes debido a la carga sísmica en X para el edificio B*

Nivel	Vx (ton)	Vy (ton)	Mx (ton-m)	My (ton-m)
5	100.38	9.47	23.90	253.54
4	179.66	17.82	70.60	722.97
3	238.05	24.22	134.56	1347.08
2	276.97	28.70	210.41	2073.65
1	295.87	31.04	292.81	2853.24

**Tabla 17:**

*Fuerzas cortantes debido a la carga sísmica en Y para el edificio B*

Nivel	Vx (ton)	Vy (ton)	Mx (ton-m)	My (ton-m)
5	7.53	90.69	228.49	18.98
4	15.81	170.57	675.28	60.29
3	22.74	232.07	1287.56	120.42
2	27.92	275.91	2015.35	194.29
1	31.04	299.20	2808.32	276.46

**Máximos Desplazamientos.** Desplazamientos máximos de dos puntos extremos, además son para verificar el efecto torsional.

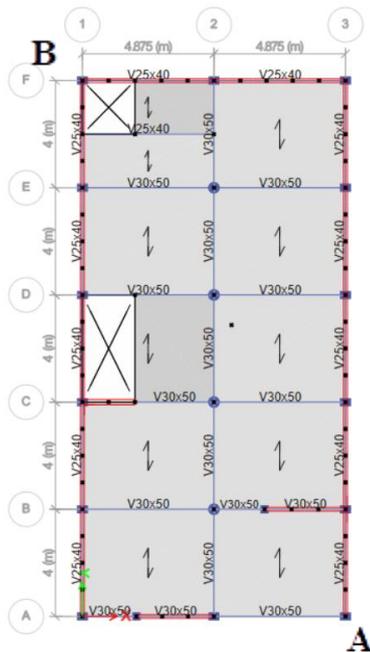
**Tabla 18:**

*Máximos desplazamientos en el edificio B*

Nivel	Extremo Max. (A)		Extremo Max. (B)	
	Dx (cm)	Dy (cm)	Dx (cm)	Dy (cm)
5	1.254	0.365	0.730	0.279
4	1.046	0.324	0.617	0.247
3	0.784	0.261	0.470	0.199
2	0.488	0.180	0.302	0.137
1	0.199	0.089	0.131	0.068
Base	0.000	0.000	0.000	0.000

**Figura 20:**

*Puntos extremos máximos en el edificio B*



**Desplazamientos Relativos Extremos en la Dirección Predominante.** Si el promedio de los desplazamientos relativos máximos es menor que 0.0035 (para concreto armado) y 0.0025 (para muros de albañilería) no tiene sentido hablar de irregularidad torsional. Si ocurriese lo contrario, se debe verificar que el desplazamiento relativo máximo entre un punto lateral con respecto al desplazamiento relativo de su punto opuesto del edificio, no sea mayor a 1.30 veces para que no exista irregularidad torsional. En la tabla se muestran los puntos donde se obtienen los desplazamientos máximos en todos los niveles, para luego hallar los desplazamientos relativos máximos.

Analizado en la dirección X

**Tabla 19:**
*Irregularidad torsional en la dirección X del edificio B*

Nivel	Lateral (A)		Opuesto (B)		1,3Dcm	
	Dmax (cm)	DR	Dmin (cm)	DR		
5	1.254	0,0017	0.730	0,0009	0,0012	sin torsión
4	1.046	0,0022	0.617	0,0012	0,0016	sin torsión
3	0.784	0,0025	0.470	0,0014	0,0018	sin torsión
2	0.488	0,0024	0.302	0,0014	0,0018	sin torsión
1	0.199	0,0017	0.131	0,0011	0,0014	sin torsión
0	0.000					
	<b>Prom.</b>	<b>0,0022</b>				

*Nota.* No existe irregularidad por torsión.

Analizado en la dirección Y

**Tabla 20:**
*Irregularidad torsional en la dirección Y del edificio B*

Nivel	Lateral (A)		Opuesto (B)		1,3Dcm	
	Dmax (cm)	DR	Dmin (cm)	DR		
5	0.365	0,0003	0.279	0,0003	0,0003	sin torsión
4	0.324	0,0005	0.247	0,0004	0,0005	sin torsión
3	0.261	0,0007	0.199	0,0005	0,0007	sin torsión
2	0.180	0,0008	0.137	0,0006	0,0008	sin torsión
1	0.089	0,0007	0.068	0,0006	0,0007	sin torsión
0	0.000					
	<b>Prom.</b>	<b>0,0006</b>				

*Nota.* No existe irregularidad por torsión.

**Desplazamiento Máximos y Relativos.** Obtenidos los resultados en cuanto a los desplazamientos del análisis lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas, se procede al cálculo de los desplazamientos laterales inelásticos multiplicando por  $0.75 \cdot R$  si es regular y por  $0.85 \cdot R$  si es irregular.

Se halla los desplazamientos relativos de entrepiso y las derivas para verificar que se cumpla con el artículo 15.1 de NTE E.030, que define como deriva máxima 0.005 para estructuras de albañilería, 0.007 para estructuras de concreto armado, 0.01 para estructuras de acero.

Se procede a realizar el análisis en la dirección X y en la dirección Y.

Desplazamientos calculados en la dirección X y analizado en el punto A.

**Tabla 21:**

*Desplazamientos máximos y derivas en la dirección X para el edificio B*

	<b>Dx (cm)</b>	<b>R.D (cm)</b>	<b>H entrepiso</b>	<b>Deriva X</b>	
5	1.254	2,82	270,00	0,0017	Niv-5
4	1.046	2,35	270,00	0,0022	Niv-4
3	0.784	1,76	270,00	0,0025	Niv-3
2	0.488	1,10	270,00	0,0024	Niv-2
1	0.199	0,45	270,00	0,0017	Niv-1
0	0.000	0,00		0,0000	Base

Desplazamientos calculados en la dirección Y, analizado en el punto A.

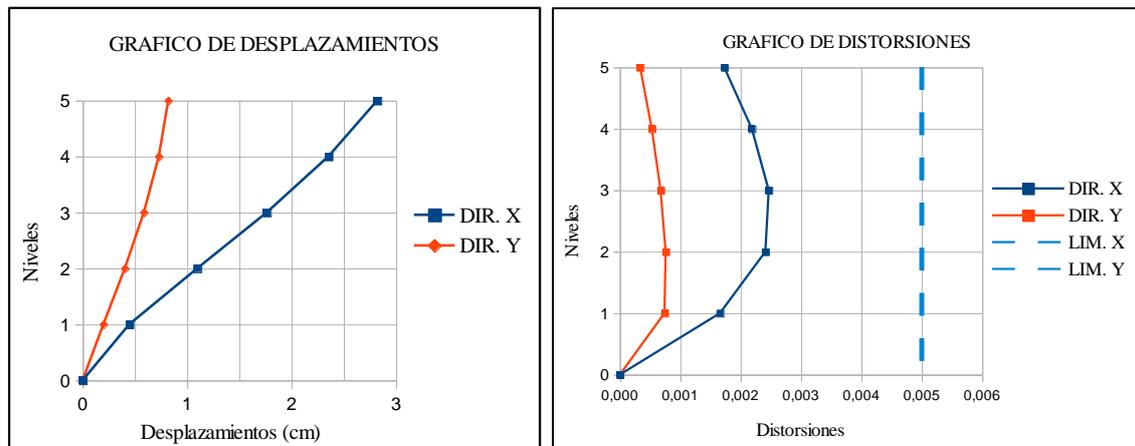
**Tabla 22:**

*Desplazamientos máximos y derivas en la dirección Y para el edificio B*

	<b>Dy (cm)</b>	<b>R.D (cm)</b>	<b>H entrepiso</b>	<b>Deriva X</b>	
5	0.365	0,82	270,00	0,0003	Niv-5
4	0.324	0,73	270,00	0,0005	Niv-4
3	0.261	0,59	270,00	0,0007	Niv-3
2	0.180	0,40	270,00	0,0008	Niv-2
1	0.089	0,20	270,00	0,0007	Niv-1
0	0.000	0,00		0,0000	Base

**Figura 21:**

*Desplazamientos máximos y derivas para el edificio B*



Entonces los máximos desplazamientos obtenidos son:

**Tabla 23:**

*Resumen de los desplazamientos y derivas máximas para la edificación B*

	X	Y	
d	2,35cm	0,73cm	Desplazamientos máximos del último nivel
dr	0,0025	0,0008	Derivas máximas de un entrepiso
Dr	0,005	0,005	Máximo normado

**Junta de Separación Sísmica.** Según la NTE E 0.30, para evitar el contacto durante un movimiento sísmico, toda estructura debe estar separada de las estructuras vecinas una distancia mínima  $s$ .

**Tabla 24:**

*Junta sísmica en ambas direcciones para la edificación B*

<b>Dirección Y</b>			
Máx. desplazamiento (dmax)	0,73cm		
Altura máxima (hmax)	1350,0cm		Medido desde el nivel de terreno
$S1 = 0.006 (hmax)$	8,10cm		
$S2 = (2 \cdot dmax)/3$	0,49cm		
$Smin = S/2$	<b>4,05cm</b>		Separación mínima del límite de propiedad.
<b>Dirección X</b>			
Máx. desplazamiento (dmax)	2,35cm		
Altura máxima (hmax)	1350,0cm		Medido desde el nivel de terreno
$S1 = 0.006 \cdot hmax$	6,48cm		
$S2 = (2 \cdot dmax)/3$	1,57cm		
$Smin = S/2$	<b>4,05cm</b>		Separación mínima del límite de propiedad.

**Análisis Dinámico del Edificio C.** Luego de realizar el modelamiento e incorporación de las cargas vivas, muerta y sísmicas, se procede a extraer los datos del análisis estructural y revisión sismorresistente.

**Periodos y Participación de Masa.** Formas de modo mínimas requeridas por norma, porcentaje de masa de cada modo.

**Tabla 25:**

*Periodos y participación de masa en el edificio C*

Modo	T (seg)	%/Masa X	%/Masa Y
1	0.201	77.95%	0.06%
2	0.101	6.43%	33.56%
3	0.095	2.82%	55.61%
4	0.067	9.27%	0.00%
5	0.042	0.01%	0.06%
6	0.041	1.38%	0.00%
7	0.039	0.01%	0.16%
8	0.038	0.10%	1.24%
<b>Total</b>		<b>97.97%</b>	<b>90.70%</b>

**Fuerzas Cortantes en la Base y Cada Nivel.** Son generadas por las cargas sísmicas.

**Tabla 26:**

*Fuerzas cortantes debido a la carga sísmica en X para el edificio C*

Nivel	Vx (ton)	Vy (ton)	Mx (ton-m)	My (ton-m)
3	81.78	10.79	27.39	207.06
2	143.97	19.79	79.61	583.75
1	178.33	24.76	153.33	1107.31

**Tabla 27:**

*Fuerzas cortantes debido a la carga sísmica en Y para el edificio C*

Nivel	Vx (ton)	Vy (ton)	Mx (ton-m)	My (ton-m)
3	11.76	81.05	204.35	29.84
2	20.52	148.82	596.42	84.09
1	24.76	185.76	1149.79	157.91

**Máximos Desplazamientos.** Desplazamientos máximos de dos puntos extremos, además son para verificar el efecto torsional.

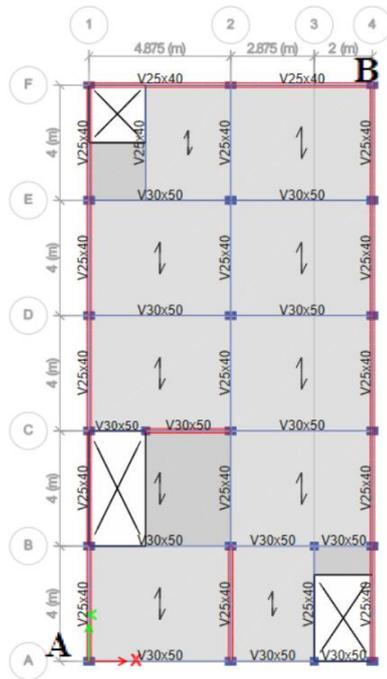
**Tabla 28:**

*Máximos desplazamientos en el edificio C*

Nivel	Extremo Max. (A)		Extremo Max. (B)	
	Dx (cm)	Dy (cm)	Dx (cm)	Dy (cm)
3	0.729	0.116	0.271	0.117
2	0.559	0.092	0.204	0.093
1	0.300	0.051	0.108	0.052
Base	0.000	0.000	0.000	0.000

**Figura 22:**

*Puntos extremos máximos en el edificio C*



**Desplazamientos Relativos Extremos en la Dirección Predominante.** Si el promedio de los desplazamientos relativos máximos es menor que 0.0035 (para concreto armado) y 0.0025 (para muros de albañilería) no tiene sentido hablar de irregularidad torsional. Si ocurriese lo contrario, se debe verificar que el desplazamiento relativo máximo entre un punto lateral con respecto al desplazamiento relativo de su punto opuesto del edificio, no sea mayor a 1.30 veces para que no exista irregularidad torsional. En la tabla se muestran los puntos donde se obtienen los desplazamientos máximos en todos los niveles, para luego hallar los desplazamientos relativos máximos.

Analizado en la dirección X

**Tabla 29:**

*Irregularidad torsional en la dirección X del edificio C*

Nivel	Lateral (A)		Opuesto (B)		1,3Dcm	
	Dmax (cm)	DR	Dmin (cm)	DR		
3	0.729	0,0014	0.271	0,0006	0,0007	sin torsión
2	0.559	0,0022	0.204	0,0008	0,0010	sin torsión
1	0.300	0,0022	0.108	0,0009	0,0012	sin torsión
0	0.000					
	<b>Prom.</b>	<b>0,0019</b>				

*Nota.* No existe irregularidad por torsión.

Analizado en la dirección Y

**Tabla 30:**

*Irregularidad torsional en la dirección Y del edificio C*

Nivel	Lateral (A)		Opuesto (B)		1,3Dcm	
	Dmax (cm)	DR	Dmin (cm)	DR		
3	0.117	0,0002	0.116	0,0002	0,0003	sin torsión
2	0.093	0,0003	0.092	0,0003	0,0004	sin torsión
1	0.052	0,0004	0.051	0,0004	0,0006	sin torsión
0	0.000					
	<b>Prom.</b>	<b>0,0003</b>				

*Nota.* No existe irregularidad por torsión.

**Desplazamiento Máximos y Relativos.** Obtenidos los resultados en cuanto a los desplazamientos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas, se procede al cálculo de los desplazamientos laterales inelásticos multiplicando por  $0.75 \cdot R$  si es regular y por  $0.85 \cdot R$  si es irregular.

Se halla los desplazamientos relativos de entrepiso y las derivas para verificar que se cumpla con el artículo 15.1 de NTE E.030, que define como deriva máxima 0.005 para estructuras de albañilería, 0.007 para estructuras de concreto armado, 0.01 para estructuras de acero.

Se procede a realizar el análisis en la dirección X y en la dirección Y.

Desplazamientos calculados en la dirección X y analizado en el punto A.

**Tabla 31:**

*Desplazamientos máximos y derivas en la dirección X para el edificio C*

	<b>Dx (cm)</b>	<b>R.D (cm)</b>	<b>H entrepiso</b>	<b>Deriva X</b>	
3	0.729	1,64	270,00	0,0014	Niv-3
2	0.559	1,26	270,00	0,0022	Niv-2
1	0.300	0,67	300,00	0,0022	Niv-1
0	0.000	0,00		0,0000	Base

Desplazamientos calculados en la dirección Y, analizado en el punto B.

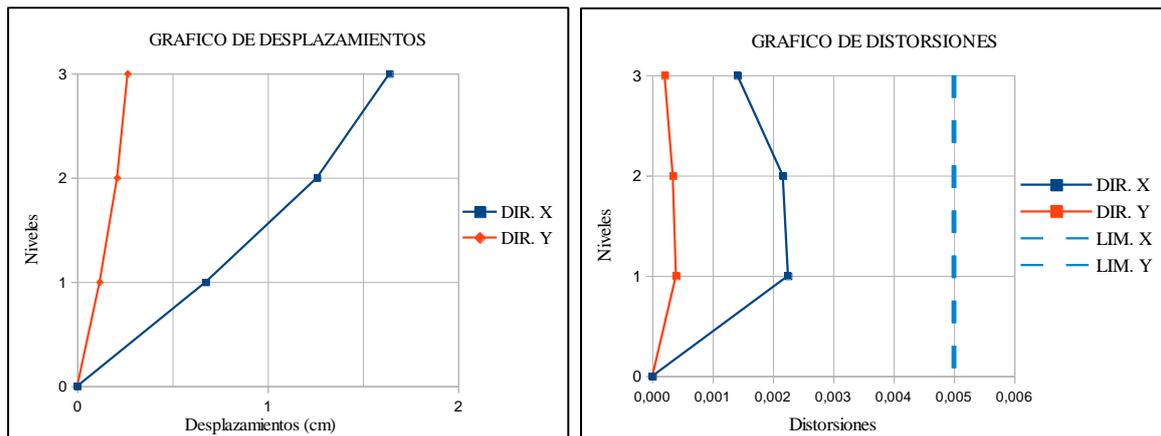
**Tabla 32:**

*Desplazamientos máximos y derivas en la dirección Y para el edificio C*

	<b>Dy (cm)</b>	<b>R.D (cm)</b>	<b>H entrepiso</b>	<b>Deriva X</b>	
3	0.117	0,26	270,00	0,0002	Niv-3
2	0.093	0,21	270,00	0,0003	Niv-2
1	0.052	0,12	300,00	0,0004	Niv-1
0	0.000	0,00		0,0000	Base

**Figura 23:**

*Desplazamientos máximos y derivas para el edificio C*



Entonces los máximos desplazamientos obtenidos son:

**Tabla 33:**

*Resumen de los desplazamientos y derivas máximas para la edificación C*

	X	Y	
d	1,64cm	0,26cm	Desplazamientos máximos del último nivel
dr	0,0022	0,0004	Derivas máximas de un entrepiso
Dr	0,005	0,005	Máximo normado

**Junta de Separación Sísmica.** Según la NTE E 0.30, para evitar el contacto durante un movimiento sísmico, toda estructura debe estar separada de las estructuras vecinas una distancia mínima  $s$ .

**Tabla 34:**

*Junta sísmica en ambas direcciones para la edificación C*

<b>Dirección Y</b>		
Máx. desplazamiento (dmax)	0,26cm	
Altura máxima (hmax)	840,0cm	Medido desde el nivel de terreno
$S1 = 0.006 (hmax)$	5,04cm	
$S2 = (2 \cdot dmax)/3$	0,17cm	
$Smin =$ Junta mínima	<b>3,00cm</b>	Separación mínima del límite de propiedad.
<b>Dirección X</b>		
Máx. desplazamiento (dmax)	1,64cm	
Altura máxima (hmax)	840,0cm	Medido desde el nivel de terreno
$S1 = 0.006 \cdot hmax$	5,04cm	
$S2 = (2 \cdot dmax)/3$	1,09cm	
$Smin =$ Junta mínima	<b>3,00cm</b>	Separación mínima del límite de propiedad.

### ***Análisis Tiempo-Historia a las Tres Edificaciones Juntas***

En esta sección se presenta el análisis Tiempo-Historia lineal, para las tres edificaciones colindantes, con un registro sísmico de aceleraciones del terreno, los cuales se obtuvieron de la base de datos del CISMID, el sismo seleccionado es de magnitud 8.1 grados que remeció Lima y Callo en 1966. Se realizará el análisis para tres casos diferentes y estas son: el primer caso consta del análisis con juntas sísmicas ideales según los cálculos realizados anteriormente en base al NTE E 0.30, para el segundo caso de análisis se plantea con juntas sísmicas existentes (insuficientes) y finalmente para el tercer caso se realiza el análisis cuando están conectados con amortiguadores para su control sísmico.

Las características del sismo seleccionado es el siguiente:

**Sismo Lima de 1966.** Se obtuvieron de la base de datos del CISMID.

#### ***Información de la Estación Sísmica***

Nombre de la estación	: Parque de la reserva
Código de la estación	: PRQ
Localización de la estación	: Parque de la reserva, cercado de lima, lima
Latitud	: -12.07
Longitud	: -77.04
Altitud	: 130m
Modelo de acelerómetro	: Acelerógrafo Analógico
Frecuencia de muestreo	: 50Hz

#### ***Información del Sismo***

Fecha	: 17 de octubre, 1966
Hora local de origen	: 16:41:00
Latitud	: -10.70
Longitud	: -78.70
Profundidad	: 24km
Magnitud	: 8.1 Mw
Fuente de información	: IGP

**Máxima Aceleración y Factor de Escalado a 0.45g**

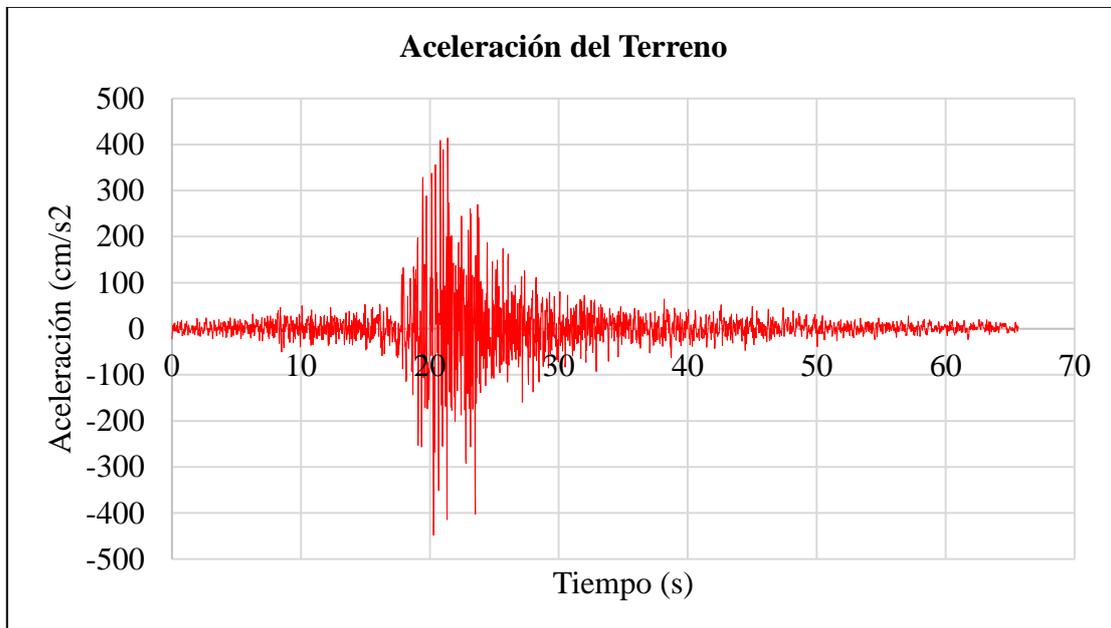
**Tabla 35:**

*Máxima aceleración y escalado a 0.45g*

<b>Acelerograma de Lima 1966</b>	<b>Aceleración (<math>cm/s^2</math>)</b>	<b>Aceleración en (g)</b>
Max	268.24	0.27
Factor de escala	1.67	1.67
<b>Aceleración Escalada</b>	<b>447.96</b>	<b>0.45g</b>

**Figura 24:**

*Gráfico de Acelerograma Lima 1966 escalado a 0.45g*

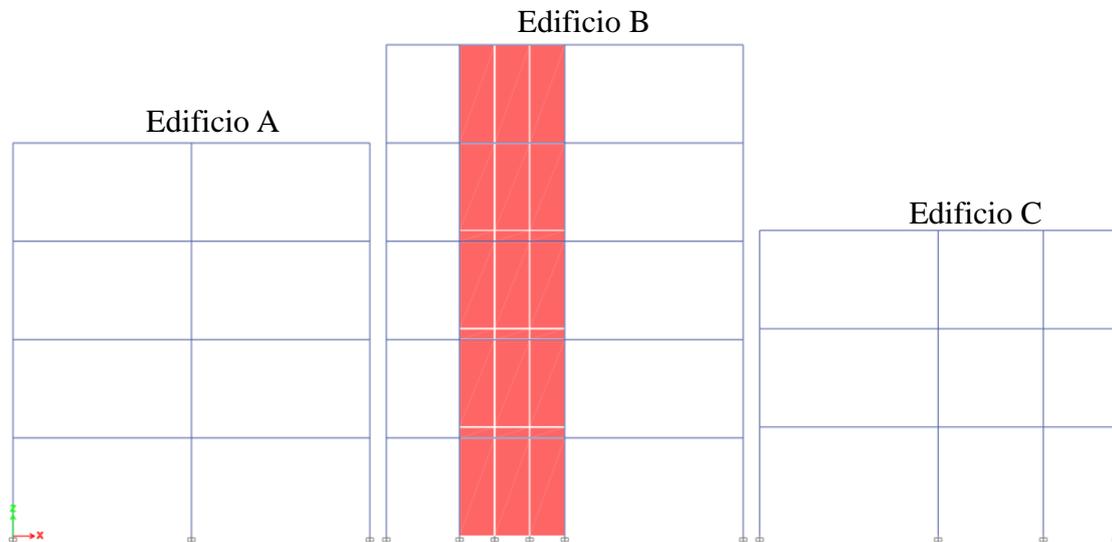


luego de cargar la aceleración del terreno al Etabs se procede a realizar el análisis correspondiente para cada uno de los casos y estos con:

**Análisis del Primer Caso.** Este análisis consiste en el modelado de las estructuras sin ningún efecto de golpe (sin efecto Pounding), es decir, con juntas sísmicas tal y conforme lo recomienda la NTE E.030 y normas internacionales, ya que en el procedimiento anterior se realizaron los cálculos correspondientes a cada estructura, para tener conocimiento de las juntas mínimas que deberían tener.

**Figura 25:**

*Modelo sin ningún elemento de enlace (Sin efecto Pounding)*



**Fuerzas Cortantes en la Base.** Es la fuerza cortante máxima positiva y negativa en la base de la edificación debido a la aceleración del terreno con que se realiza el análisis Tiempo-Historia.

Para el edificio A es de:

$$Vx = -579.53 \text{ ton}$$

$$Vx = +548.69 \text{ ton}$$

Para el edificio B es de:

$$Vx = -549.57 \text{ ton}$$

$$Vx = +612.85 \text{ ton}$$

Para el edificio C es de:

$$Vx = -394.16 \text{ ton}$$

$$Vx = +430.17 \text{ ton}$$

**Máximos Desplazamientos y Derivas de Entrepiso.** Desplazamientos máximos positivos y negativos de cada una de las edificaciones para la aceleración del terreno en la dirección X.

Se procede a realizar la lectura de los resultados del edificio A:

**Tabla 36:**

*Máximos desplazamientos en el edificio A*

Nivel	Desplazamientos Max. Positivos	Desplazamientos Max. Negativos
	Dx (cm)	Dx (cm)
4	2.060	-1.875
3	1.651	-1.477
2	1.089	-0.974
1	0.459	-0.416
Base	0.000	0.000

**Tabla 37:**

*Derivas de los Desplazamientos Positivos para el Edificio A*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
4	2.060	270,00	0,0015
3	1.651	270,00	0,0021
2	1.089	270,00	0,0023
1	0.459	270,00	0,0017
0	0.000		0,0000

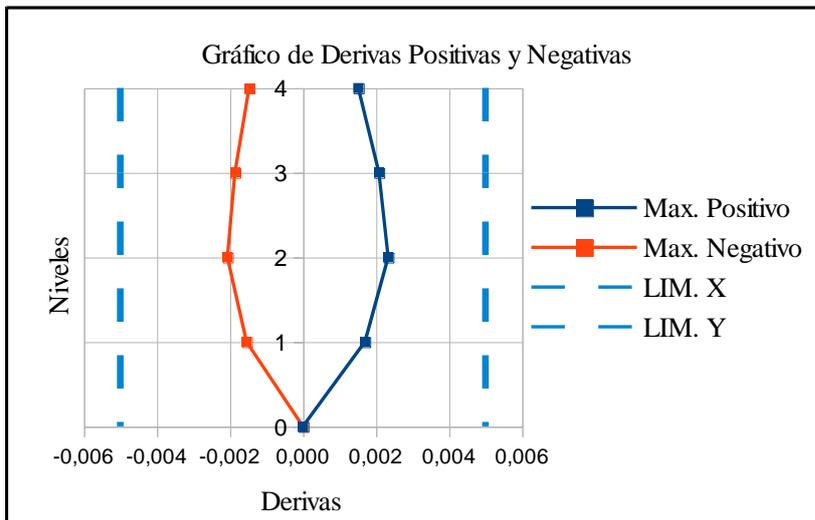
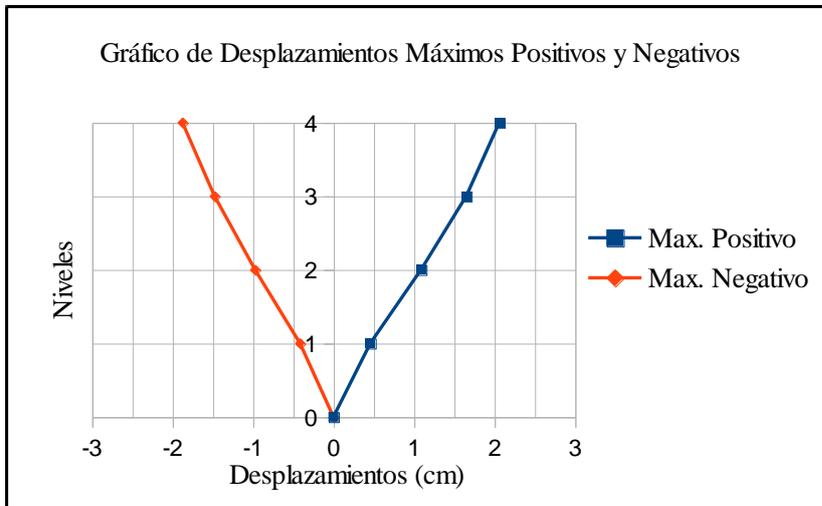
**Tabla 38:**

*Derivas de los Desplazamientos Negativos para el Edificio A*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
4	-1.875	270,00	-0,0015
3	-1.477	270,00	-0,0019
2	-0.974	270,00	-0,0021
1	-0.416	270,00	-0,0015
0	0.000		0,0000

**Figura 26:**

*Desplazamientos y derivas máximas del edificio A*



**Tabla 39:**

*Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación A*

	<b>Max. Positivo</b>	<b>Max. Negativo</b>	
d	2,06cm	-1,875cm	Desplazamientos máximos del último nivel
dr	0,0023	-0,0021	Derivas máximas de un entrepiso
Dr	0,005	-0,005	Máximo normado

Se procede a realizar la lectura de los resultados del edificio B:

**Tabla 40:**

*Máximos desplazamientos en el edificio B*

Nivel	Desplazamientos Max.	Desplazamientos Max.
	Positivos	Negativos
	Dx (cm)	Dx (cm)
5	2.255	-2.252
4	1.877	-1.860
3	1.398	-1.371
2	0.861	-0.833
1	0.344	-0.348
Base	0.000	0.000

**Tabla 41:**

*Derivas de los Desplazamientos Positivos para el edificio B*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
5	2.255	270,00	0,0014
4	1.877	270,00	0,0018
3	1.398	270,00	0,0020
2	0.861	270,00	0,0019
1	0.344	270,00	0,0013
0	0.000		0,0000

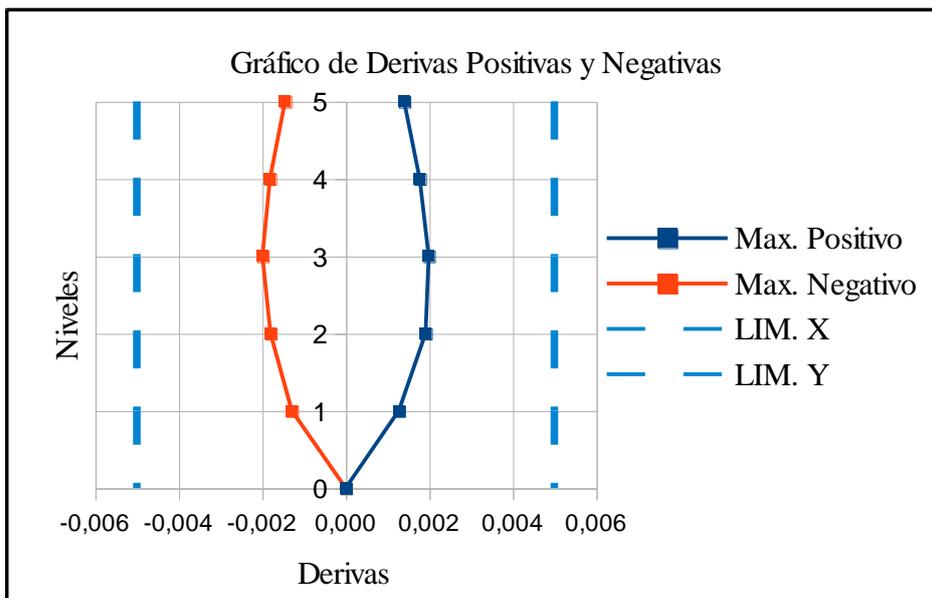
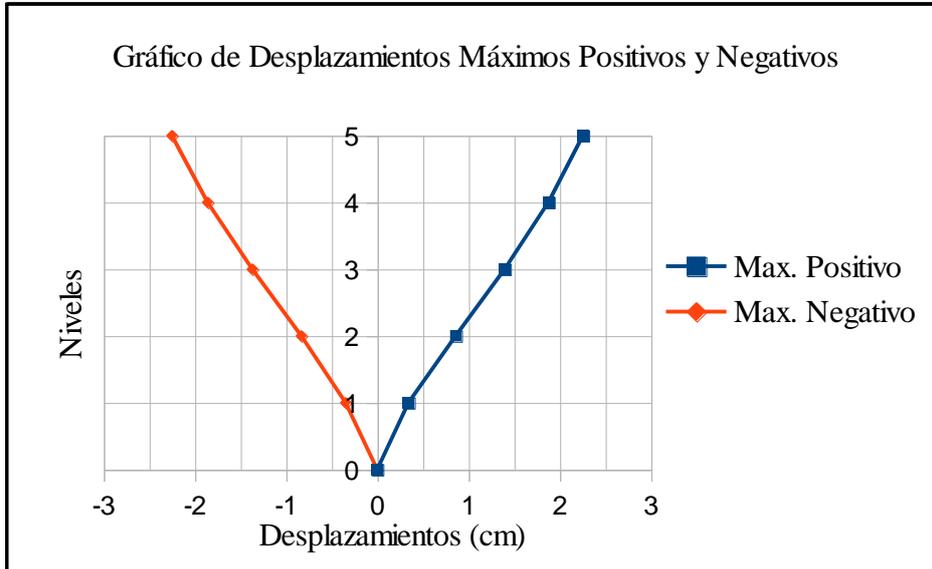
**Tabla 42:**

*Derivas de los Desplazamientos Negativos para el Edificio B*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
5	-2.252	270,00	-0,0015
4	-1.860	270,00	-0,0018
3	-1.371	270,00	-0,0020
2	-0.833	270,00	-0,0018
1	-0.348	270,00	-0,0013
0	0.000		0,0000

**Figura 27:**

*Desplazamientos y derivas máximas del edificio B*



**Tabla 43:**

*Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación B*

	<b>Max. Positivo</b>	<b>Max. Negativo</b>	
d	2,26cm	-2,252cm	Desplazamientos máximos del último nivel
dr	0,0020	-0,0020	Derivas máximas de un entrepiso
Dr	0,005	-0,005	Máximo normado

Se procede a realizar la lectura de los resultados del edificio C:

**Tabla 44:**

*Máximos desplazamientos en el edificio C*

Nivel	Desplazamientos Max. Positivos	Desplazamientos Max. Negativos
	Dx (cm)	Dx (cm)
3	1.332	-1.479
2	1.038	-1.115
1	0.567	-0.583
Base	0.000	0.000

**Tabla 45:**

*Derivas de los desplazamientos positivos para el edificio C*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
3	1.332	270,00	0,0011
2	1.038	270,00	0,0017
1	0.567	300,00	0,0019
0	0.000		0,0000

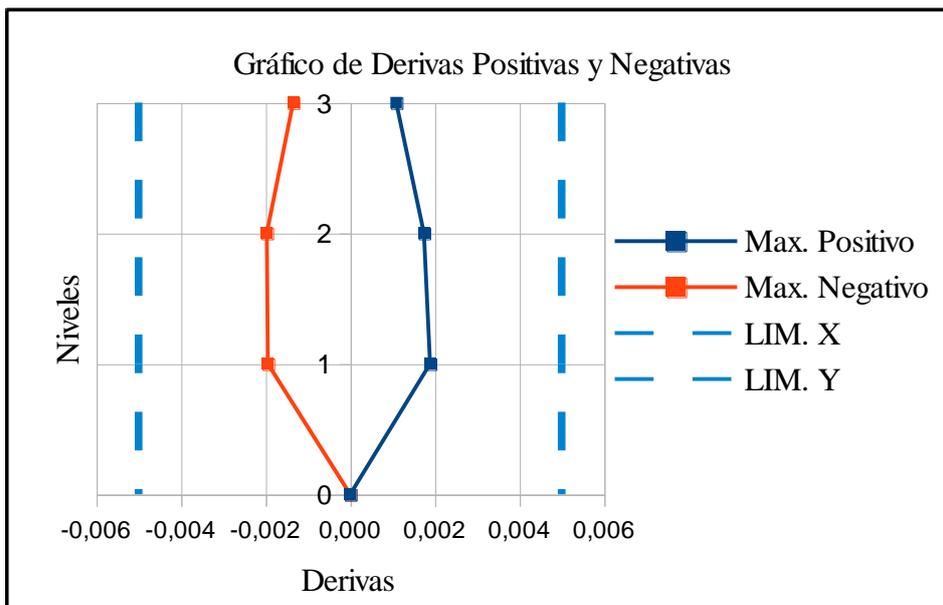
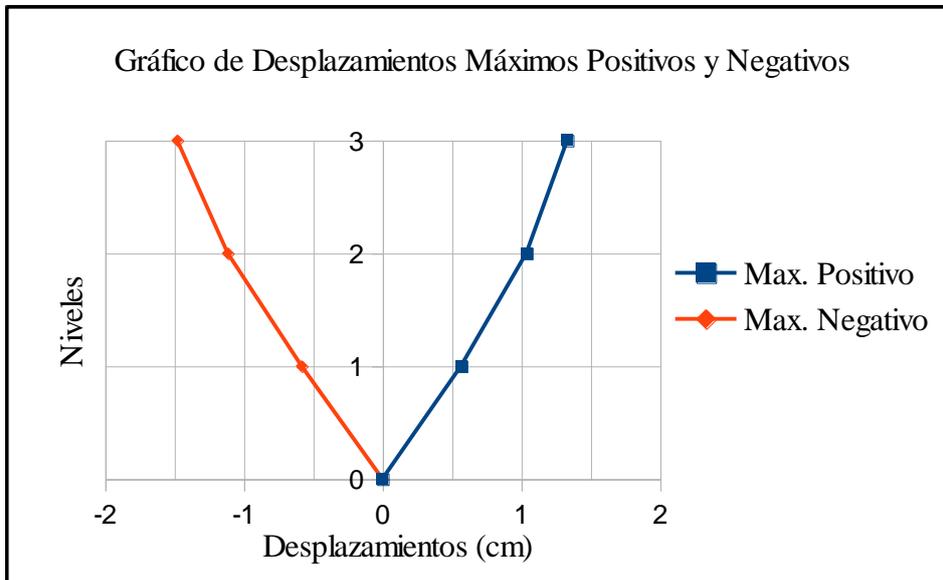
**Tabla 46:**

*Derivas de los desplazamientos negativos para el edificio C*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
3	-1.479	270,00	-0,0013
2	-1.115	270,00	-0,0020
1	-0.583	300,00	-0,0019
0	0.000		0,0000

**Figura 28:**

*Desplazamientos y derivas máximas del edificio C*



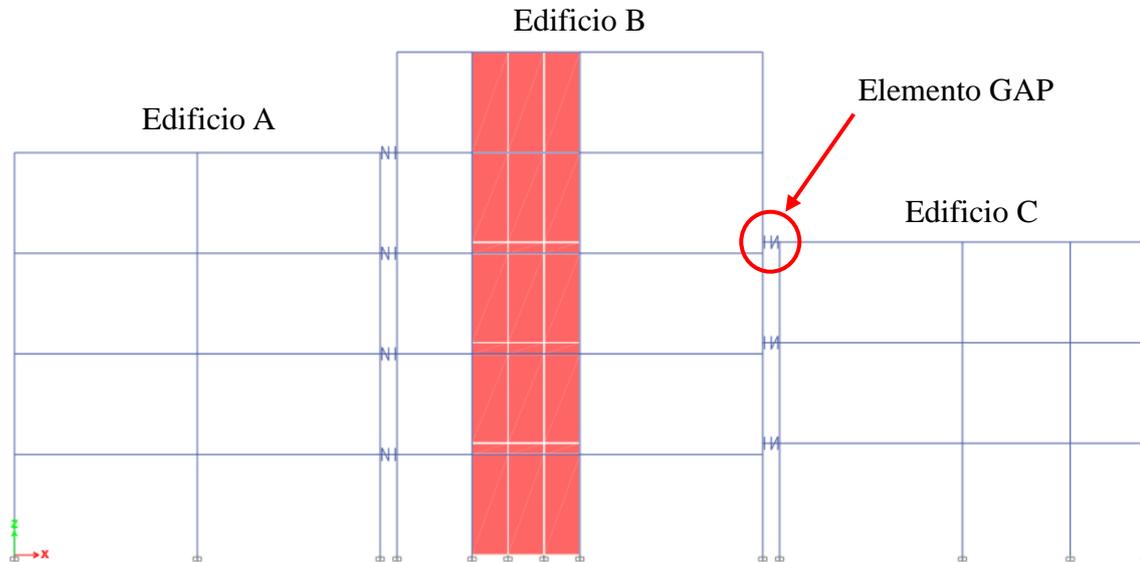
**Tabla 47:**

*Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación C*

	<b>Max. Positivo</b>	<b>Max. Negativo</b>	
d	1,33cm	-1,48cm	Desplazamientos máximos del último nivel
dr	0,0019	-0,0020	Derivas máximas de un entrepiso
Dr	0,005	-0,005	Máximo normado

**Análisis del Segundo Caso.** Este análisis consiste en el modelado de las estructuras conectadas con elementos de brecha (elemento GAP), esto con la finalidad de representar matemáticamente el efecto de golpe sísmico (efecto Pounding) entre las edificaciones con juntas sísmicas insuficientes, la junta sísmica es de 5 cm entre las edificaciones.

**Figura 29:** Modelo con elementos de enlace (Con efecto Pounding)



*Nota.* Se han colocado 24 elementos GAP entre el edificio A y B, y entre el edificio B y C se han colocado 18 elementos GAP, la cantidad total es de 42 elementos GAP que servirá para tomar lectura de las fuerzas de impacto entre edificaciones colindantes.

**Fuerzas Cortantes en la Base.** Es la fuerza cortante máxima positiva y negativa en la base de la edificación debido a la aceleración del terreno con que se realiza el análisis Tiempo-Historia.

Para el edificio A es de:

$$Vx = -633.20 \text{ ton}$$

$$Vx = +731.74 \text{ ton}$$

Para el edificio B es de:

$$Vx = -688.14 \text{ ton}$$

$$Vx = +780.89 \text{ ton}$$

Para el edificio C es de:

$$V_x = -415.16 \text{ ton}$$

$$V_x = +459.79 \text{ ton}$$

**Máximos Desplazamientos y Derivas de Entrepiso.** Desplazamientos máximos positivos y negativos de cada una de las edificaciones para la aceleración del terreno en la dirección X.

Se procede a realizar la lectura de los resultados del edificio A:

**Tabla 48:**

*Máximos desplazamientos en el edificio A con efecto Pounding*

Nivel	Desplazamientos Max.	Desplazamientos Max.
	Positivos	Negativos
	Dx (cm)	Dx (cm)
4	2.387	-2.656
3	1.784	-2.001
2	1.141	-1.283
1	0.485	-0.538
Base	0.000	0.000

**Tabla 49:**

*Derivas positivas para el Edificio A con efecto Pounding*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
4	2.387	270,00	0,0022
3	1.784	270,00	0,0024
2	1.141	270,00	0,0024
1	0.485	270,00	0,0018
0	0.000		0,0000

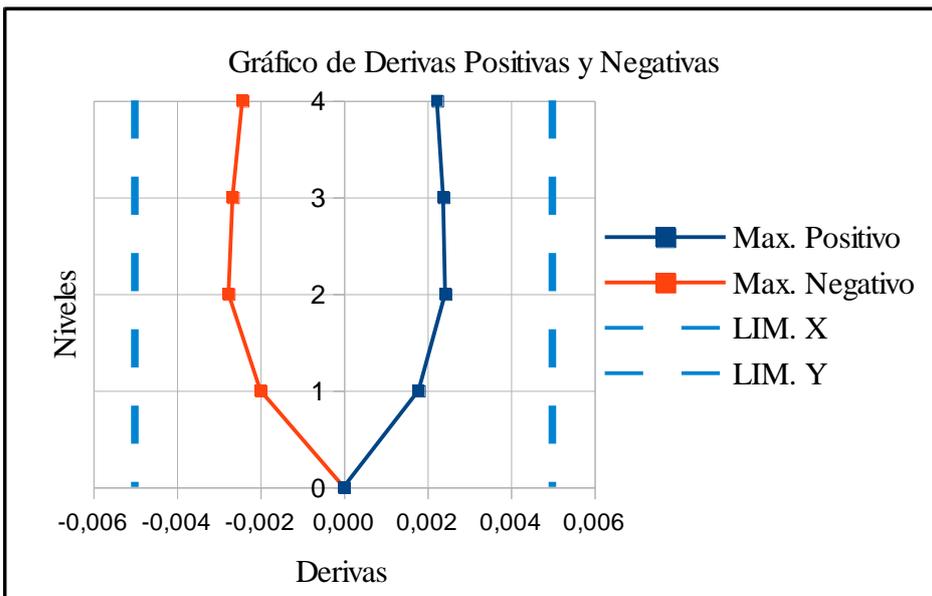
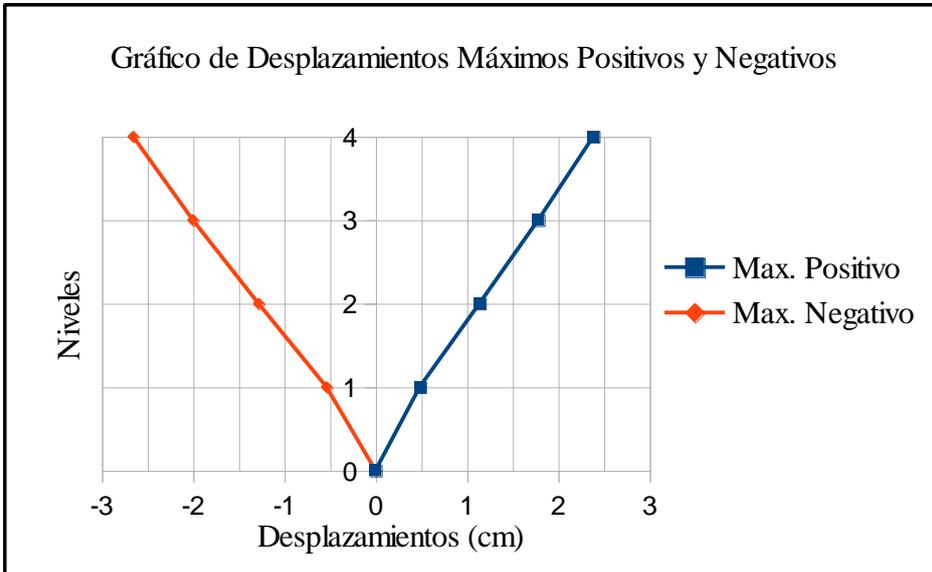
**Tabla 50:**

*Derivas negativas para el Edificio A con efecto Pounding*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
4	-2.656	270,00	-0,0024
3	-2.001	270,00	-0,0027
2	-1.283	270,00	-0,0028
1	-0.538	270,00	-0,0020
0	0.000		0,0000

**Figura 30:**

*Desplazamientos y derivas máximas del edificio A con efecto Pounding*



**Tabla 51:**
*Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación A*

	<b>Max. Positivo</b>	<b>Max. Negativo</b>	
d	2,39cm	-2,656cm	Desplazamientos máximos del último nivel
dr	0,0024	-0,0028	Derivas máximas de un entrepiso
Dr	0,005	-0,005	Máximo normado

Se procede a realizar la lectura de los resultados del edificio B:

**Tabla 52:**
*Máximos desplazamientos en el edificio B con efecto Pounding*

Nivel	Desplazamientos Max. Positivos	Desplazamientos Max. Negativos
	Dx (cm)	Dx (cm)
5	2.926	-3.227
4	2.387	-2.657
3	1.823	-2.048
2	1.213	-1.365
1	0.557	-0.620
Base	0.000	0.000

**Tabla 53:**
*Derivas Positivas Para el edificio B con Efecto Pounding*

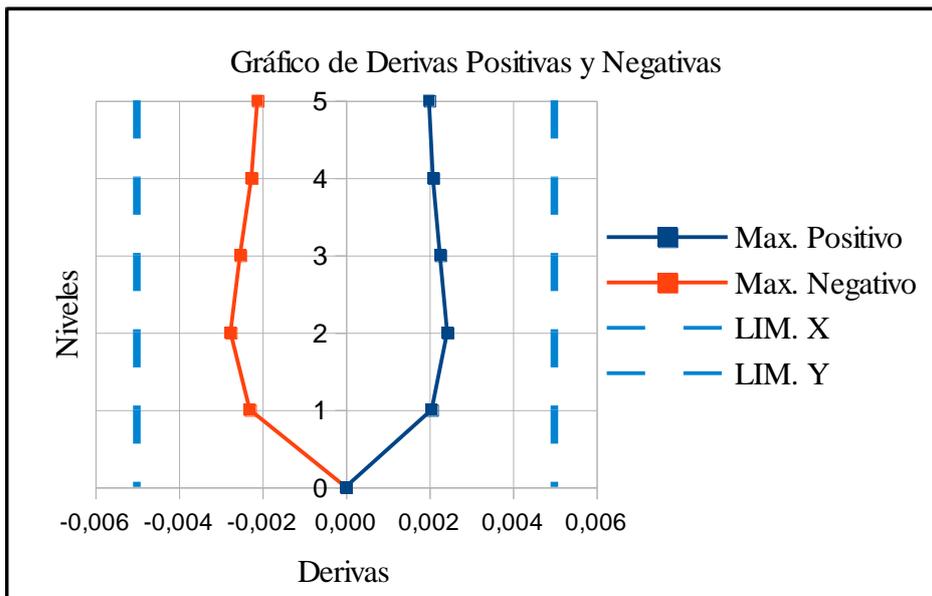
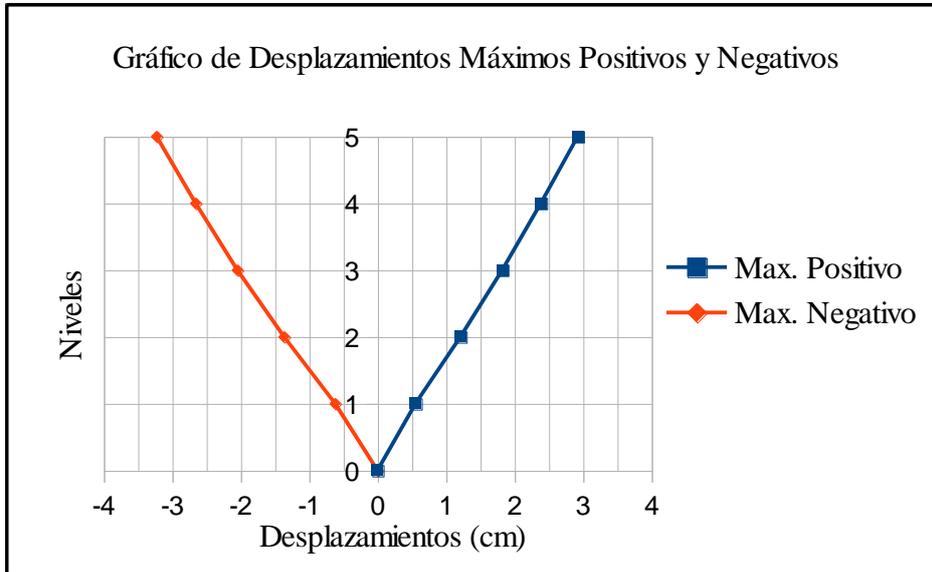
Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
5	2.926	270,00	0,0020
4	2.387	270,00	0,0021
3	1.823	270,00	0,0023
2	1.213	270,00	0,0024
1	0.557	270,00	0,0021
0	0.000		0,0000

**Tabla 54:**
*Derivas Negativas para el Edificio B con Efecto Pounding*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
5	-3.227	270,00	-0,0021
4	-2.657	270,00	-0,0023
3	-2.048	270,00	-0,0025
2	-1.365	270,00	-0,0028
1	-0.620	270,00	-0,0023
0	0.000		0,0000

**Figura 31:**

*Desplazamientos y derivas máximas del edificio B con Efecto Pounding*



**Tabla 55:**

*Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación B con Efecto Pounding*

	<b>Max. Positivo</b>	<b>Max. Negativo</b>	
d	2,93cm	-3,227cm	Desplazamientos máximos del último nivel
dr	0,0024	-0,0028	Derivas máximas de un entrepiso
Dr	0,005	-0,005	Máximo normado

Se procede a realizar la lectura de los resultados del edificio C:

**Tabla 56:**

*Máximos desplazamientos en el edificio C con Efecto Pounding*

Nivel	Desplazamientos Max.	Desplazamientos Max.
	Positivos	Negativos
	Dx (cm)	Dx (cm)
3	1.823	-2.047
2	1.163	-1.308
1	0.557	-0.620
Base	0.000	0.000

**Tabla 57:**

*Derivas positivas Para el edificio C con Efecto Pounding*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
3	1.823	270,00	0,0024
2	1.163	270,00	0,0022
1	0.557	300,00	0,0019
0	0.000		0,0000

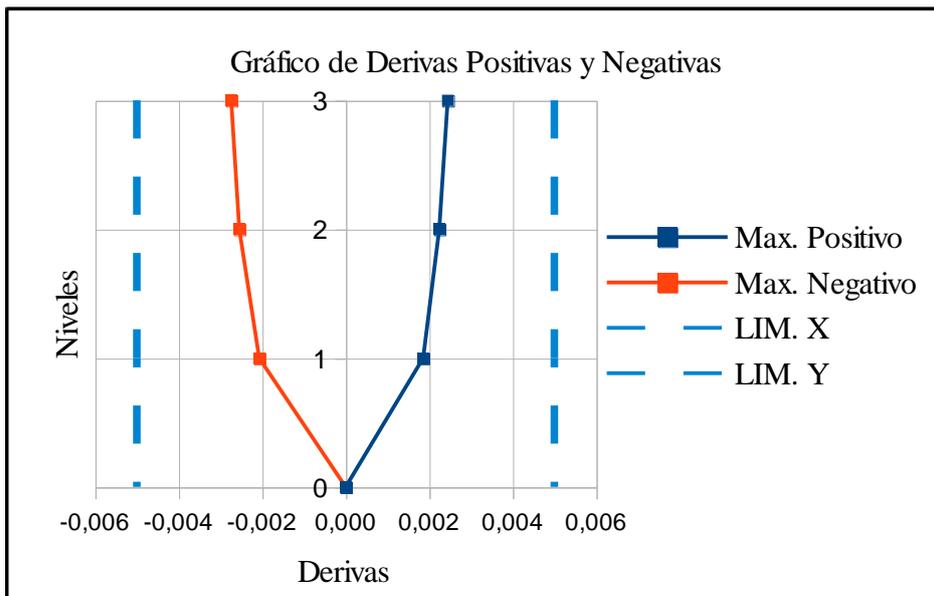
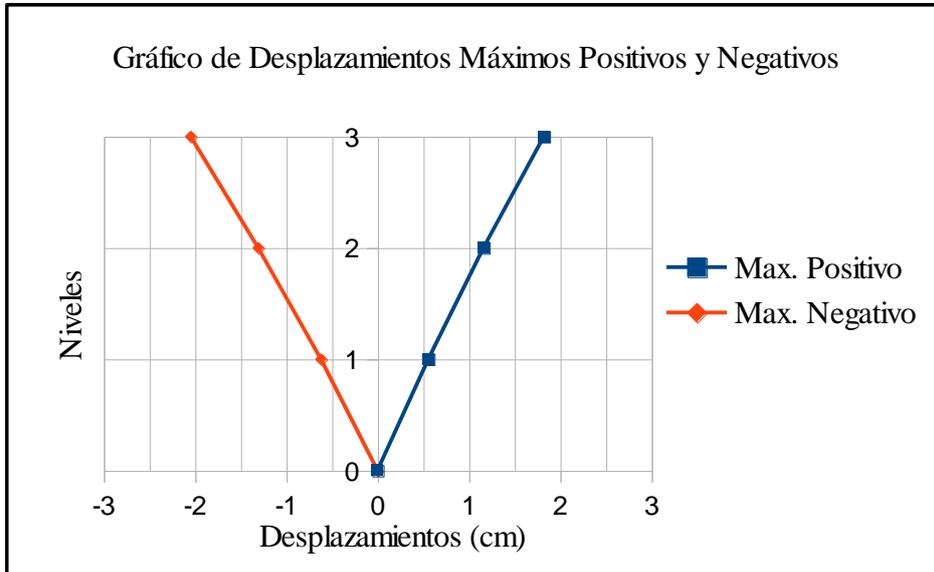
**Tabla 58:**

*Derivas negativas para el Edificio C con Efecto Pounding*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
3	-2.047	270,00	-0,0027
2	-1.308	270,00	-0,0025
1	-0.620	300,00	-0,0021
0	0.000		0,0000

**Figura 32:**

*Desplazamientos y derivas máximas del edificio C con efecto Pounding*



**Tabla 59:**

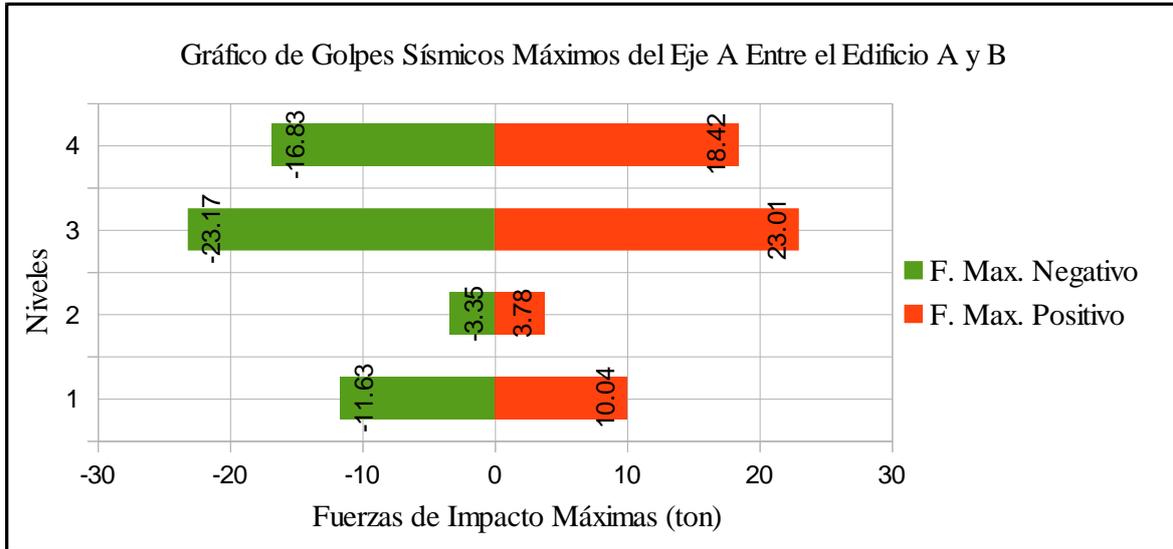
*Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación C con Efecto Pounding*

	<b>Max. Positivo</b>	<b>Max. Negativo</b>	
d	1,82cm	-2,05cm	Desplazamientos máximos del último nivel
dr	0,0024	-0,0027	Derivas máximas de un entrepiso
Dr	0,005	-0,005	Máximo normado

**Fuerzas de Impacto.** Se procede a la lectura de las fuerzas de impacto entre las edificaciones colindantes, se realizará graficas de resumen por cada nivel con las fuerzas máximas de impacto entre las edificaciones A, B y C.

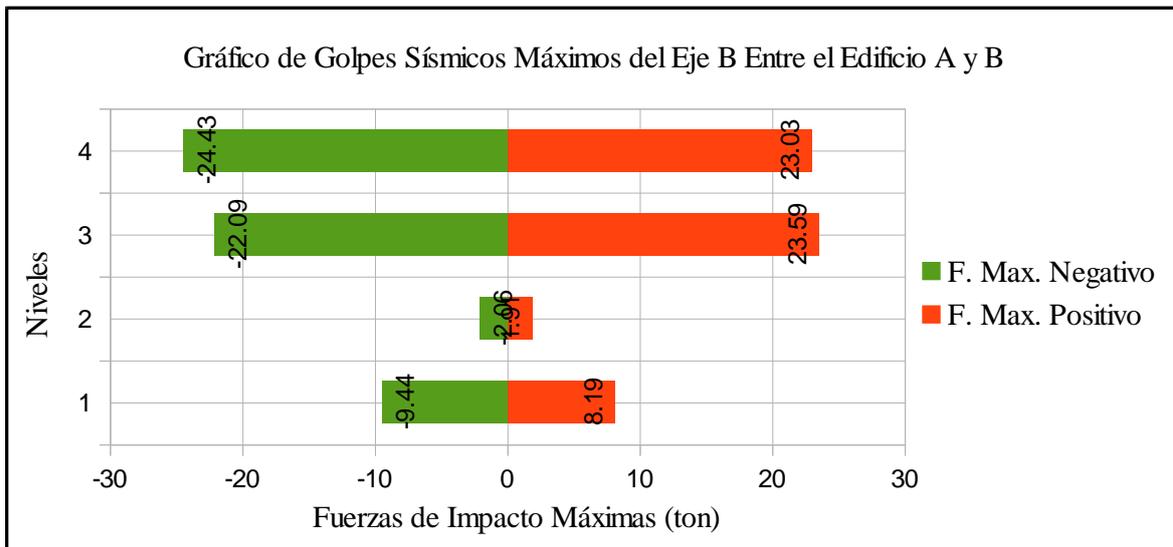
**Figura 33:**

*Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones A y B en el Eje A*



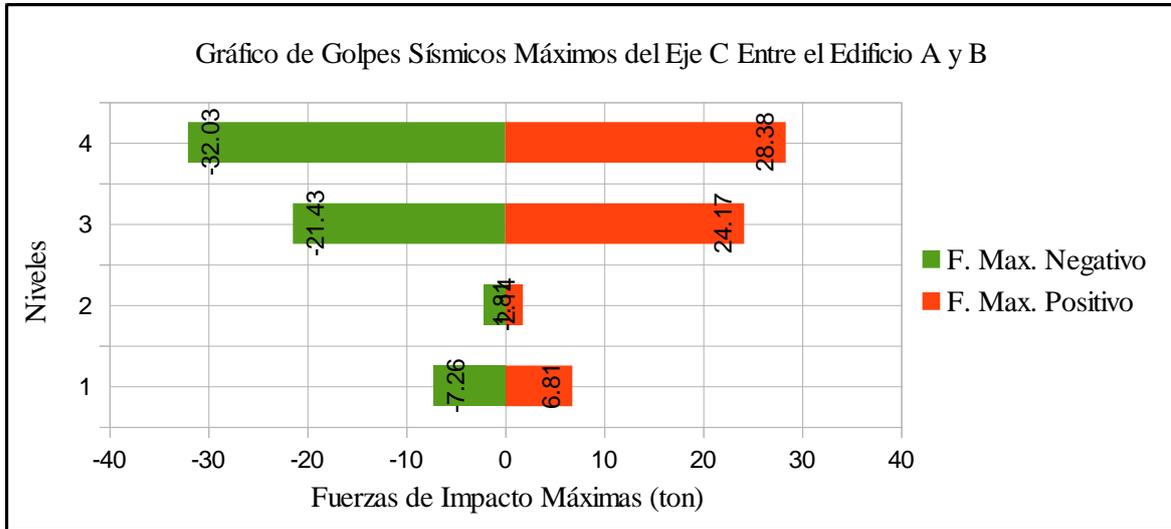
**Figura 34:**

*Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones A y B en el Eje B*



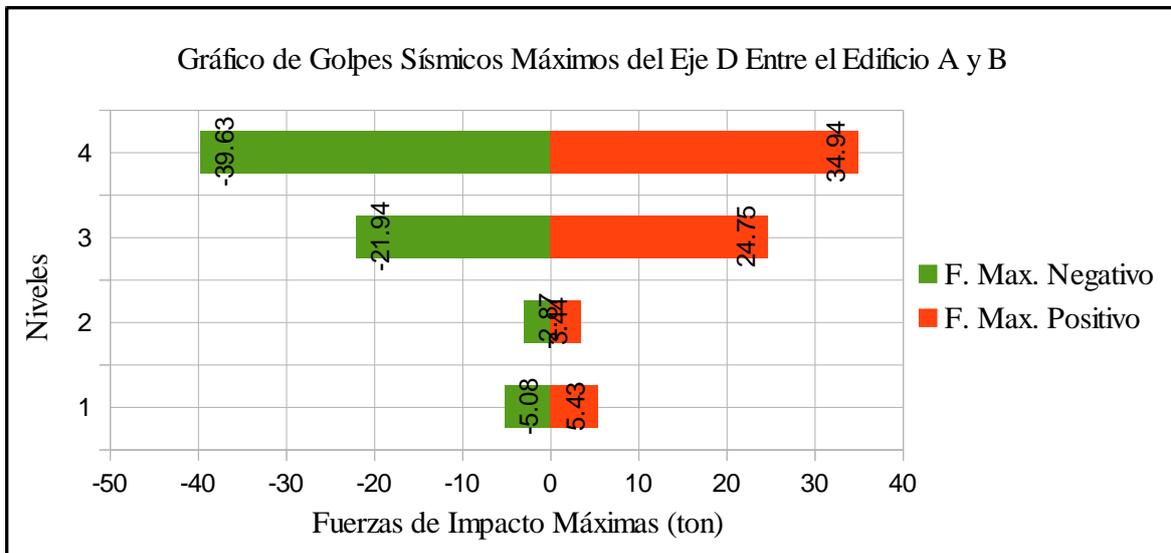
**Figura 35:**

*Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones A y B en el Eje C*



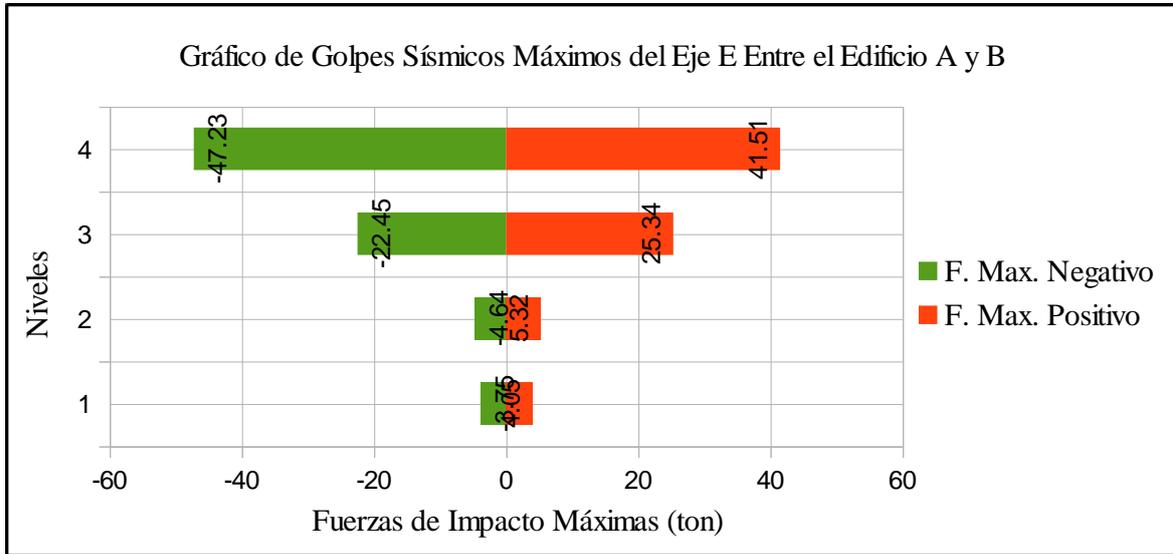
**Figura 36:**

*Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones A y B en el Eje D*



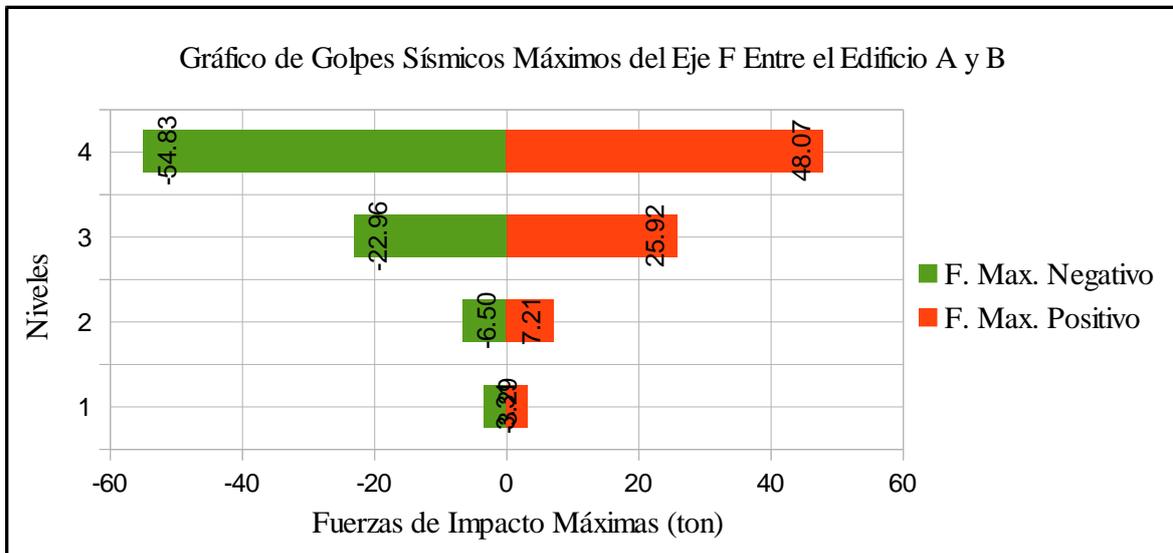
**Figura 37:**

*Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones A y B en el Eje E*



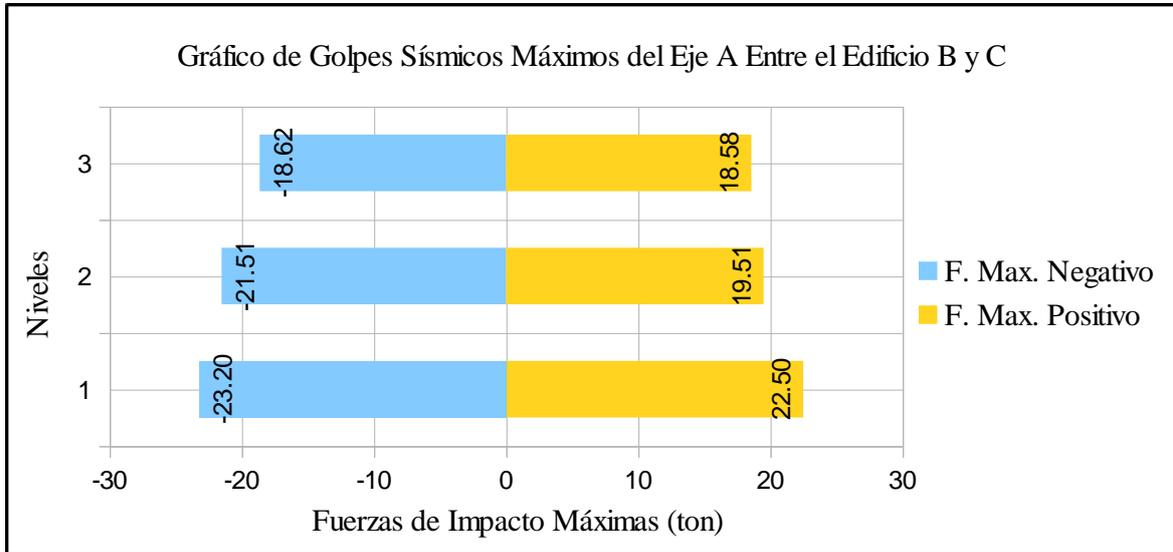
**Figura 38:**

*Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones A y B en el Eje F*



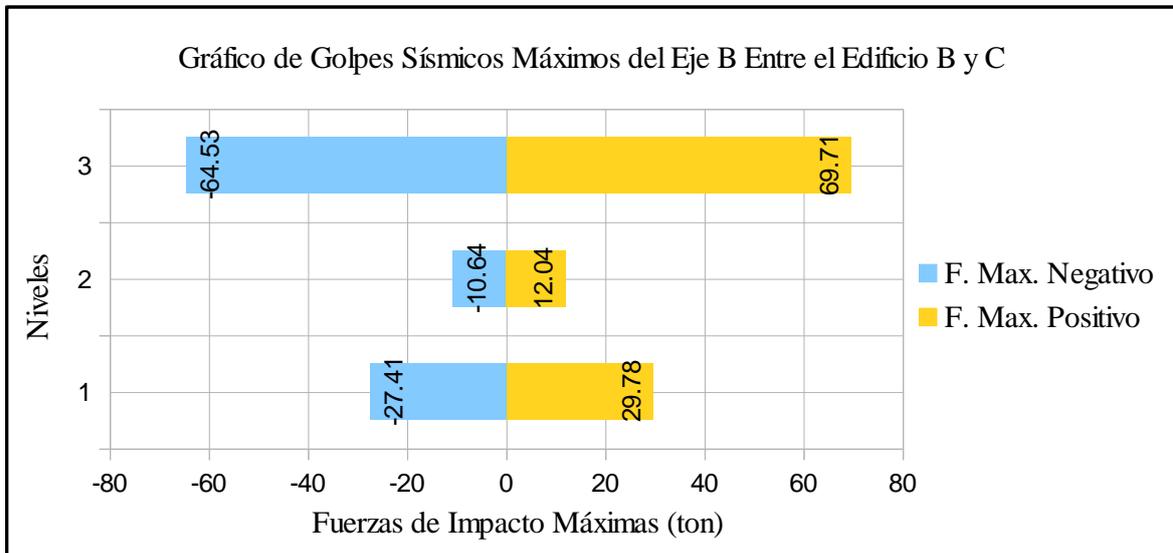
**Figura 39:**

*Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones B y C en el Eje A*



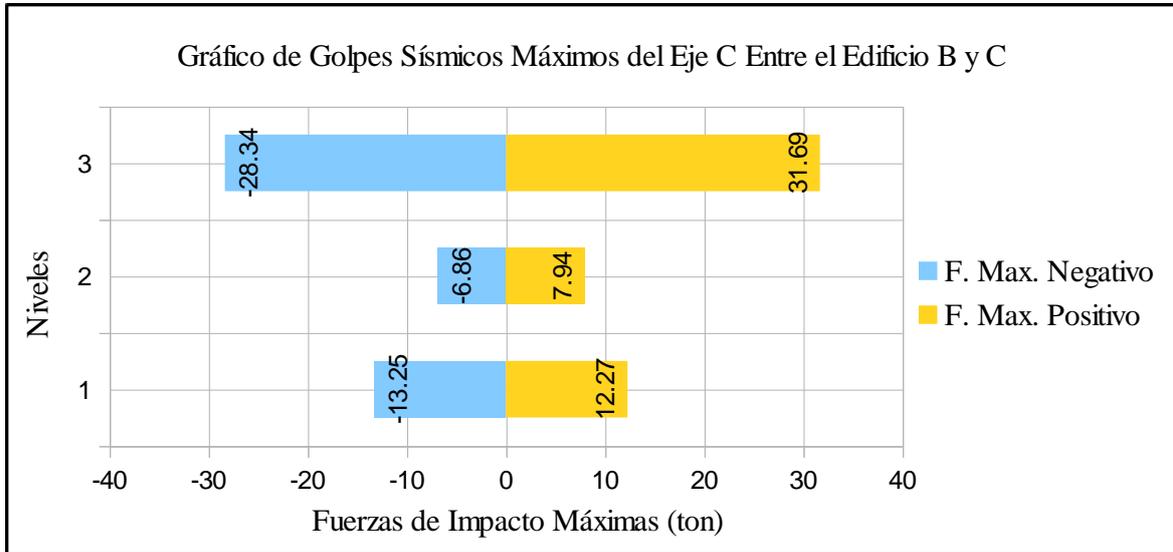
**Figura 40:**

*Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones B y C en el Eje B*



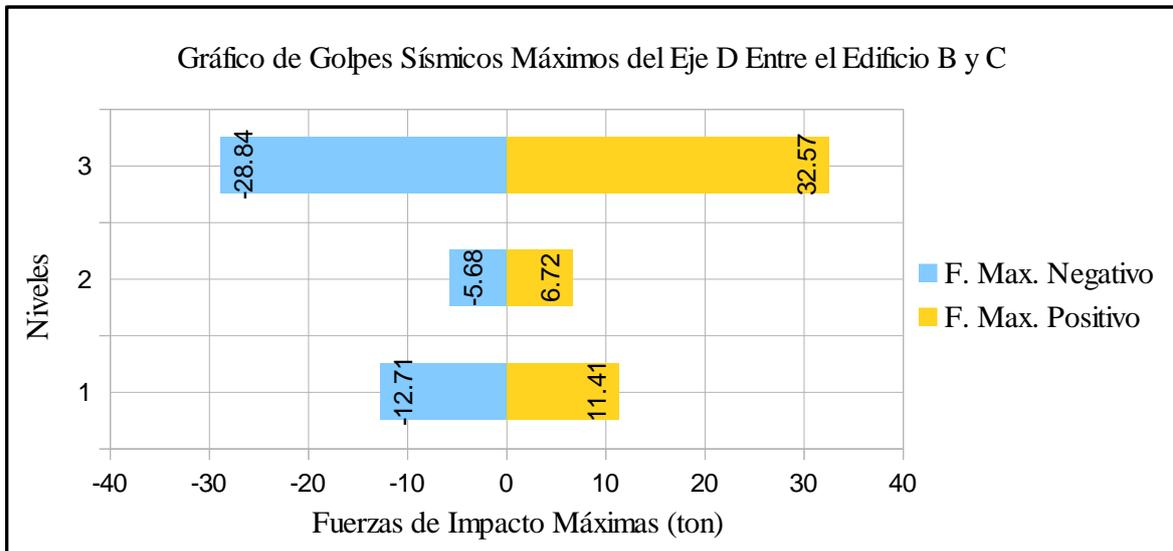
**Figura 41:**

*Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones B y C en el Eje C*



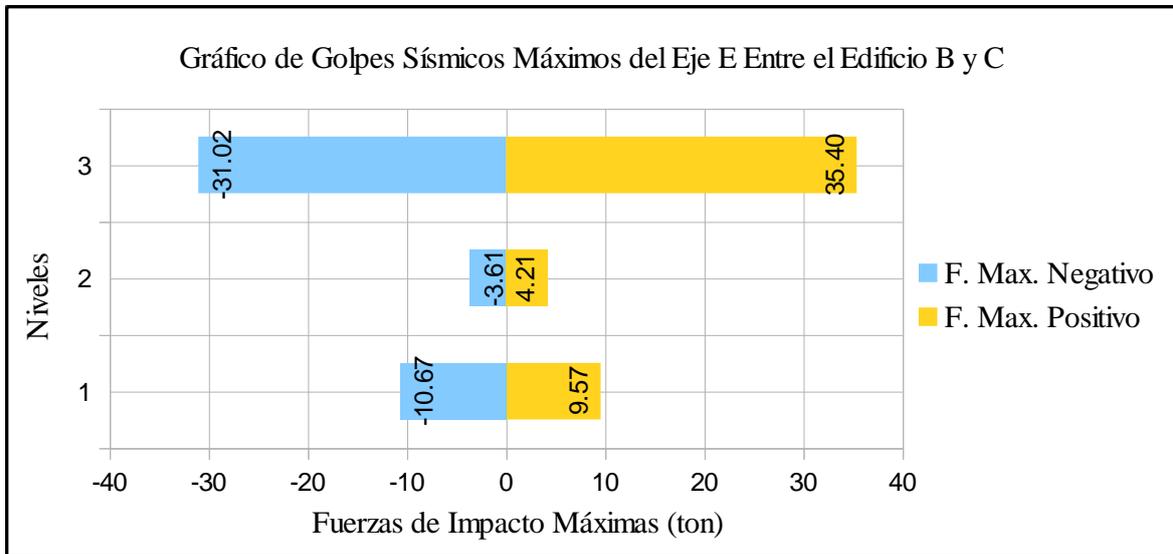
**Figura 42:**

*Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones B y C en el Eje D*



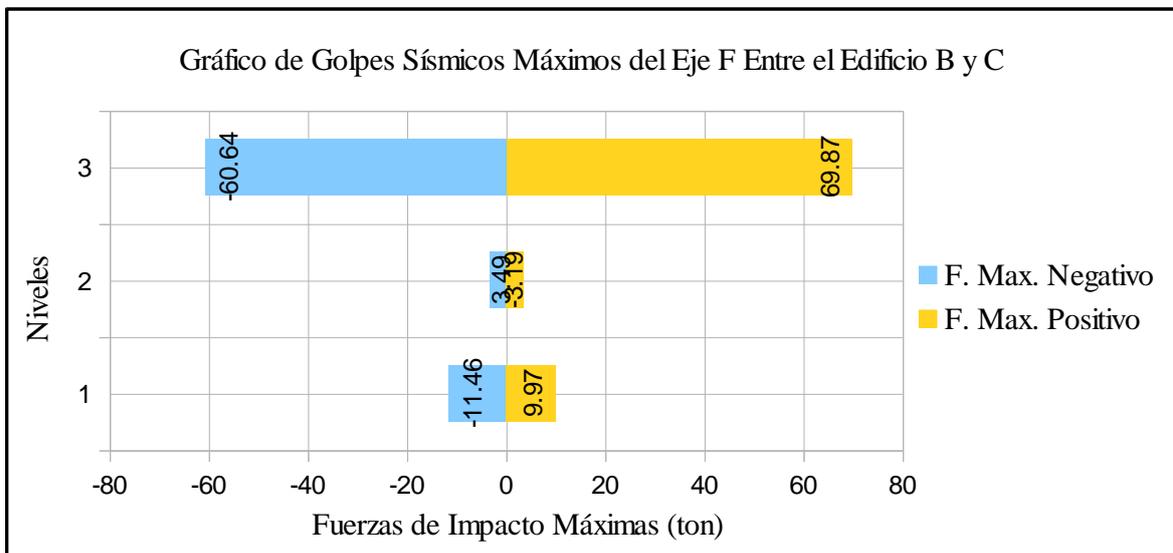
**Figura 43:**

*Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones B y C en el Eje E*



**Figura 44:**

*Fuerzas de Impacto Entre las edificaciones B y C en el Eje F*

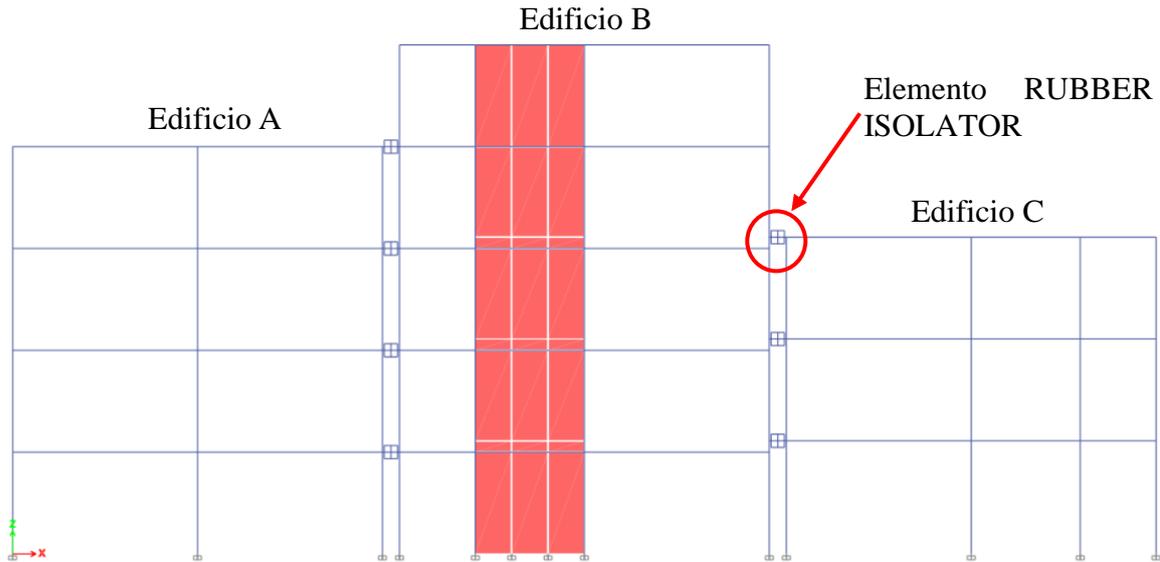


Luego de obtener las fuerzas de impacto de cada uno de los 42 puntos se procede a dar una propuesta de solución, para mitigar los golpes sísmicos, es así como se desarrolla el tercer caso.

**Análisis del Tercer Caso.** Este análisis consiste en el modelado de las estructuras conectadas con elementos de amortiguamiento (elemento RUBBER ISOLATOR), esto con la finalidad de representar matemáticamente la disipación de los golpes sísmicos entre las edificaciones con juntas sísmicas insuficientes, la junta sísmica es de 5 cm entre las edificaciones.

**Figura 45:**

*Modelo con elementos de amortiguamiento*



*Nota.* Se han colocado 24 elementos RUBBER ISOLATOR entre el edificio A y B, y entre el edificio B y C se han colocado 18 elementos RUBBER ISOLATOR, la cantidad total es de 42 elementos RUBBER ISOLATOR que servirá para disipar las energías de los golpes sísmicos entre edificaciones colindantes.

Para el edificio A es de:

$$Vx = -173.29 \text{ ton}$$

$$Vx = +122.16 \text{ ton}$$

Para el edificio B es de:

$$Vx = -187.25 \text{ ton}$$

$$Vx = +126.83 \text{ ton}$$

Para el edificio C es de:

$$V_x = -141.88 \text{ ton}$$

$$V_x = +101.62 \text{ ton}$$

**Máximos Desplazamientos y Derivas de Entrepiso.** Desplazamientos máximos positivos y negativos de cada una de las edificaciones para la aceleración del terreno en la dirección X.

Se procede a realizar la lectura de los resultados del edificio A:

**Tabla 60:**

*Máximos desplazamientos en el edificio A con Amortiguadores*

Nivel	Desplazamientos Max.	Desplazamientos Max.
	Positivos	Negativos
	Dx (cm)	Dx (cm)
4	0.432	-0.291
3	0.356	-0.240
2	0.244	-0.165
1	0.106	-0.071
Base	0.000	0.000

**Tabla 61:**

*Derivas positivas para el Edificio A con Amortiguadores*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
4	0.432	270,00	0,0003
3	0.356	270,00	0,0004
2	0.244	270,00	0,0005
1	0.106	270,00	0,0004
0	0.000		0,0000

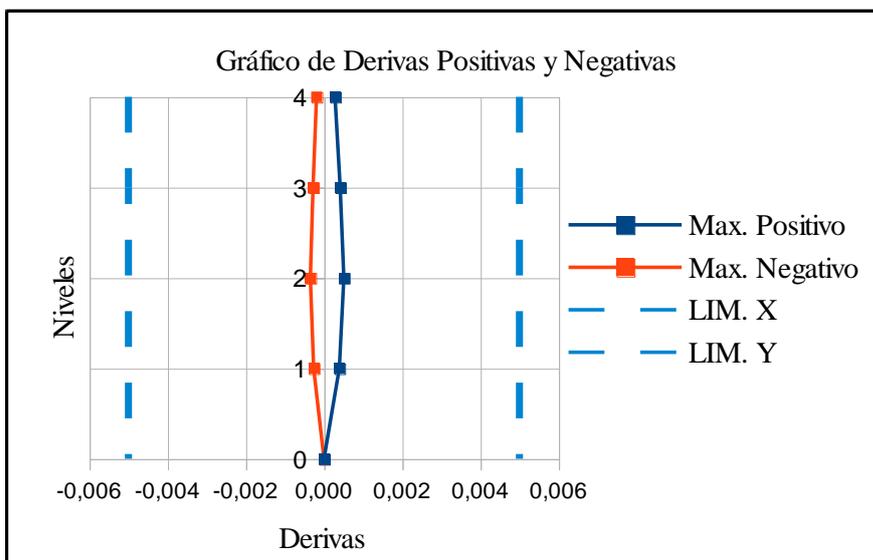
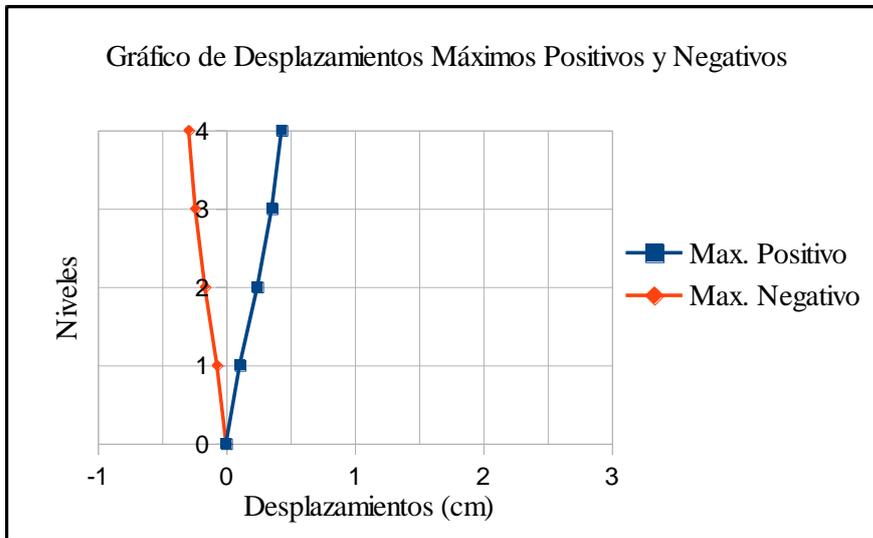
**Tabla 62:**

*Derivas negativas para el Edificio A con Amortiguadores*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
4	-0.291	270,00	-0,0002
3	-0.240	270,00	-0,0003
2	-0.165	270,00	-0,0003
1	-0.071	270,00	-0,0003
0	0.000		0,0000

**Figura 46:**

*Desplazamientos y derivas máximas del edificio A amortiguado*



**Tabla 63:**

*Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación con Amortiguadores*

	<b>Max. Positivo</b>	<b>Max. Negativo</b>	
d	0,432cm	-0,291cm	Desplazamientos máximos del último nivel
dr	0,0005	-0,0003	Derivas máximas de un entrepiso
Dr	0,005	-0,005	Máximo normado

Se procede a realizar la lectura de los resultados del edificio B:

**Tabla 64:**

*Máximos desplazamientos en el edificio B con amortiguadores*

Nivel	Desplazamientos Max. Positivos	Desplazamientos Max. Negativos
	Dx (cm)	Dx (cm)
5	0.561	-0.331
4	0.480	-0.288
3	0.374	-0.228
2	0.242	-0.150
1	0.100	-0.063
Base	0.000	0.000

**Tabla 65:**

*Derivas positivas para el edificio B con amortiguadores*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
5	0.561	270,00	0,0003
4	0.480	270,00	0,0004
3	0.374	270,00	0,0005
2	0.242	270,00	0,0005
1	0.100	270,00	0,0004
0	0.000		0,0000

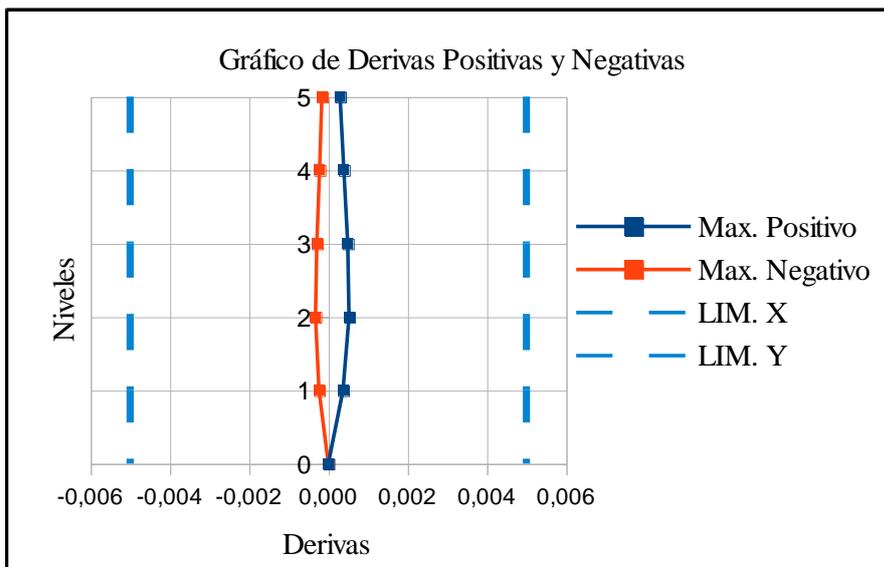
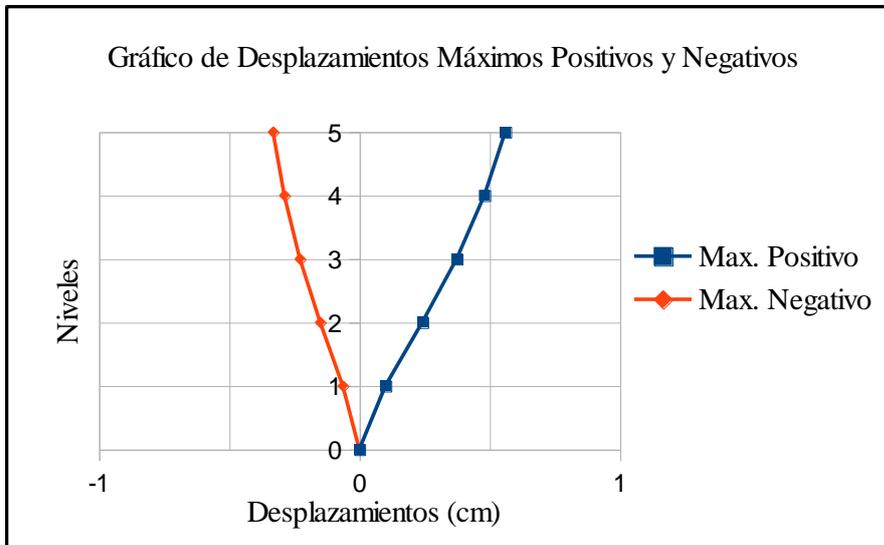
**Tabla 66:**

*Derivas negativas para el Edificio B con amortiguadores*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
5	-0.331	270,00	-0,0002
4	-0.288	270,00	-0,0002
3	-0.228	270,00	-0,0003
2	-0.150	270,00	-0,0003
1	-0.063	270,00	-0,0002
0	0.000		0,0000

**Figura 47:**

*Desplazamientos y derivas máximas del edificio B amortiguado*



**Tabla 67:**

*Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación B con amortiguadores*

	<b>Max. Positivo</b>	<b>Max. Negativo</b>	
d	0,56cm	-0,33cm	Desplazamientos máximos del último nivel
dr	0,0005	-0,0003	Derivas máximas de un entrepiso
Dr	0,005	-0,005	Máximo normado

Se procede a realizar la lectura de los resultados del edificio C:

**Tabla 68:**

*Máximos desplazamientos en el edificio C con amortiguadores*

Nivel	Desplazamientos Max.	Desplazamientos Max.
	Positivos	Negativos
	Dx (cm)	Dx (cm)
3	0.382	-0.270
2	0.304	-0.215
1	0.171	-0.121
Base	0.000	0.000

**Tabla 69:**

*Derivas positivas Para el edificio C con amortiguadores*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
3	0.382	270,00	0,0003
2	0.304	270,00	0,0005
1	0.171	300,00	0,0006
0	0.000		0,0000

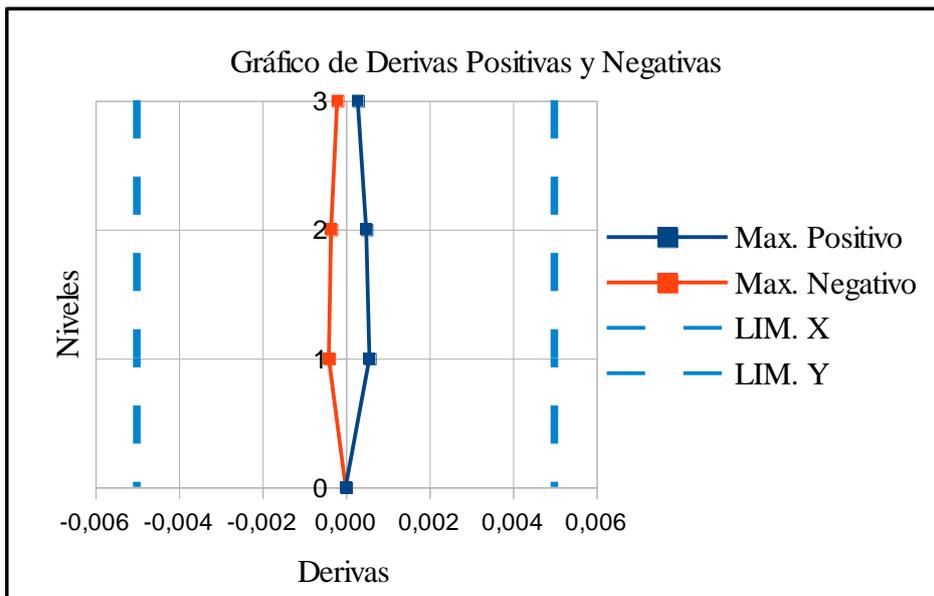
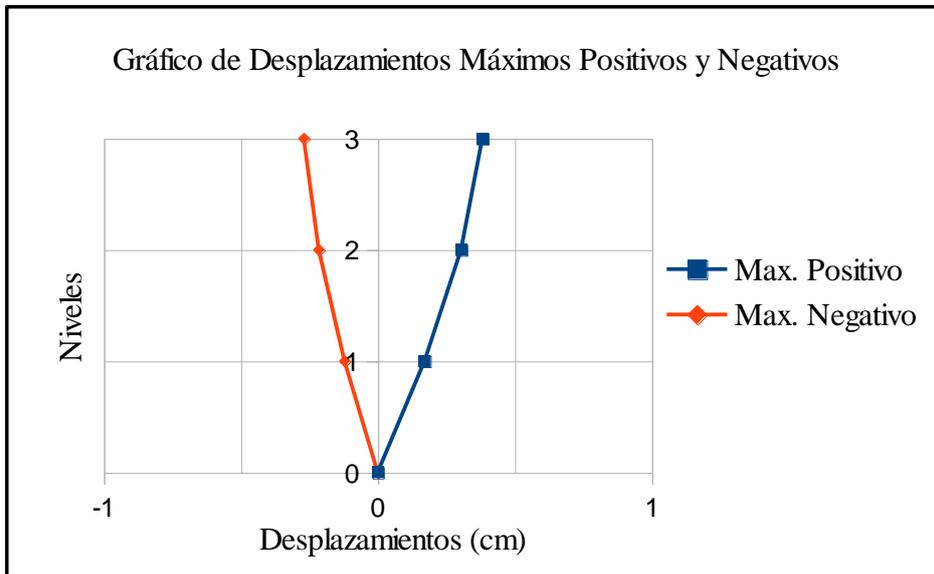
**Tabla 70:**

*Derivas negativas para el Edificio C con amortiguadores*

Nivel	DX (cm)	H entrepiso (cm)	DRX
3	-0.270	270,00	-0,0002
2	-0.215	270,00	-0,0003
1	-0.121	300,00	-0,0004
0	0.000		0,0000

**Figura 48:**

*Desplazamientos y derivas máximas del edificio C amortiguado*



**Tabla 71:**

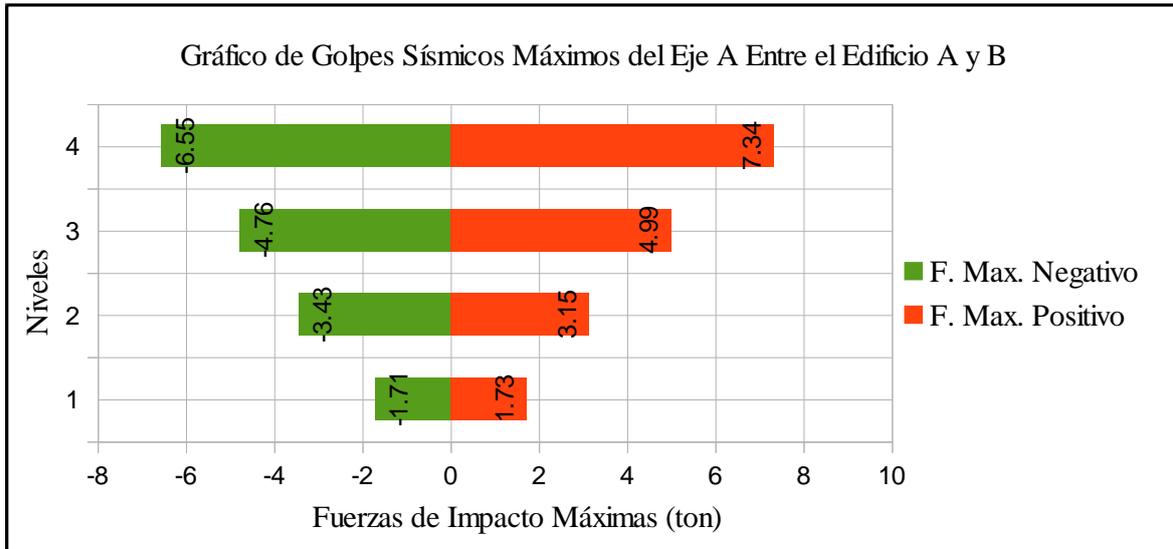
*Resumen de los desplazamientos y derivas positivas y negativas para la edificación C con amortiguadores*

	<b>Max. Positivo</b>	<b>Max. Negativo</b>	
d	0,38cm	-0,27cm	Desplazamientos máximos del último nivel
dr	0,0006	-0,0004	Derivas máximas de un entrepiso
Dr	0,005	-0,005	Máximo normado

**Fuerzas de Impacto.** Se procede a la lectura de las fuerzas de impacto entre las edificaciones colindantes, se realizará graficas de resumen por cada eje con las fuerzas máximas de impacto entre las edificaciones A, B y C.

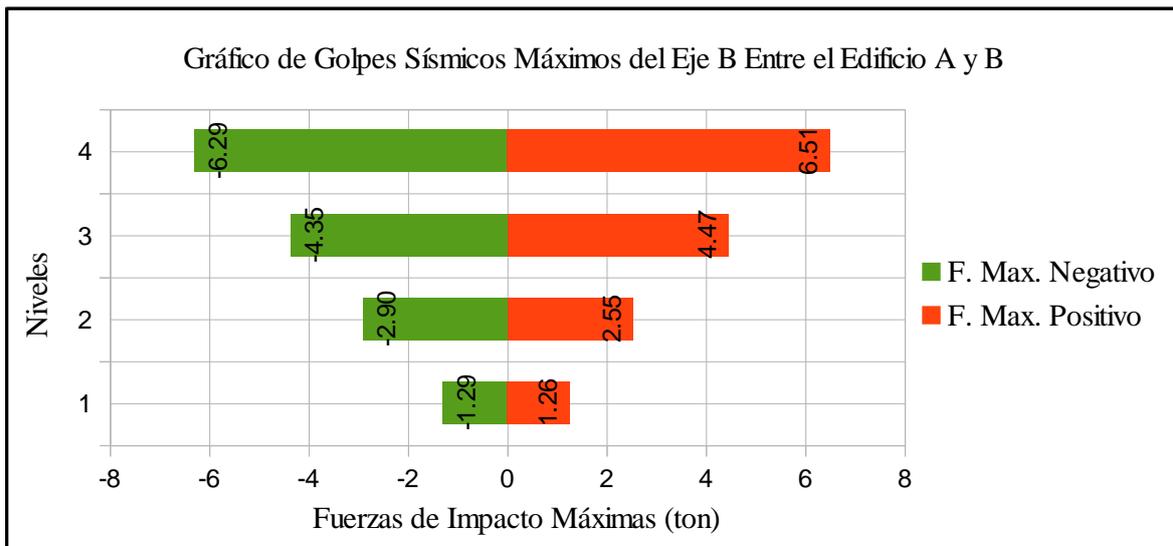
**Figura 49:**

*Fuerzas de Impacto entre las edificaciones A y B en el Eje A amortiguado*



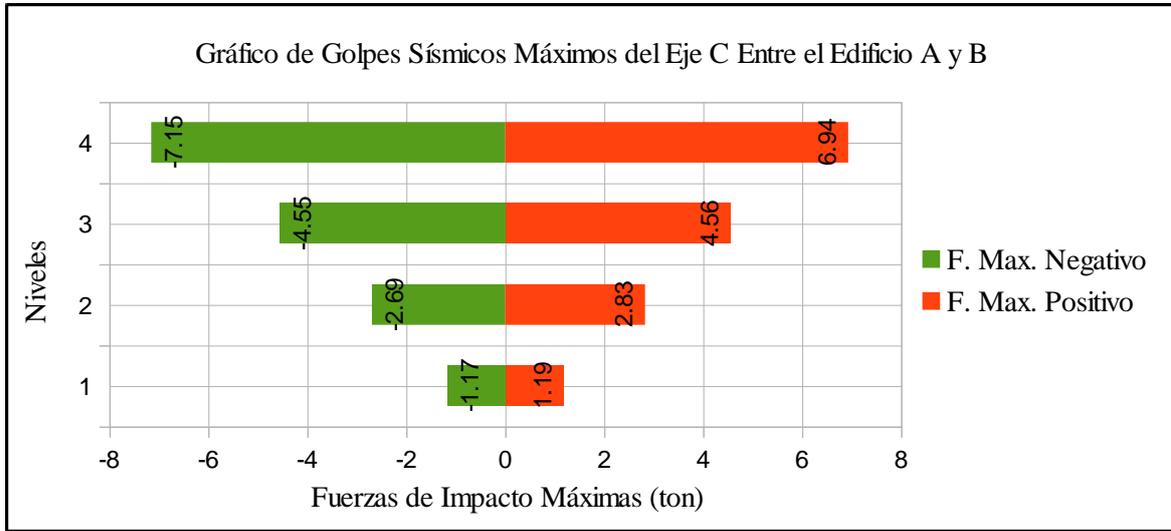
**Figura 50:**

*Fuerzas de Impacto entre las edificaciones A y B en el Eje B amortiguado*



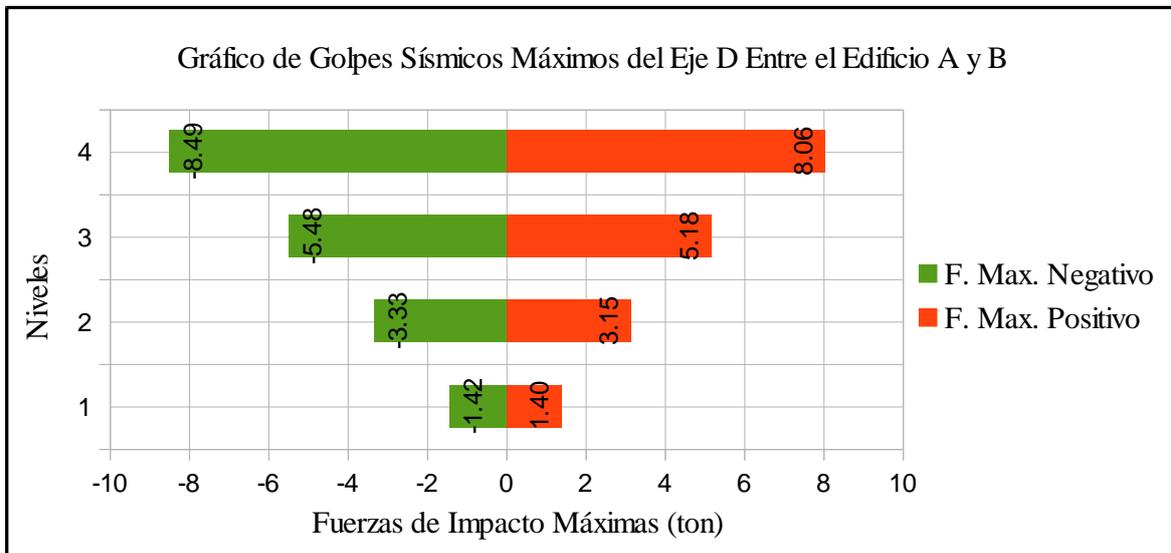
**Figura 51:**

*Fuerzas de Impacto entre las edificaciones A y B en el Eje C amortiguado*



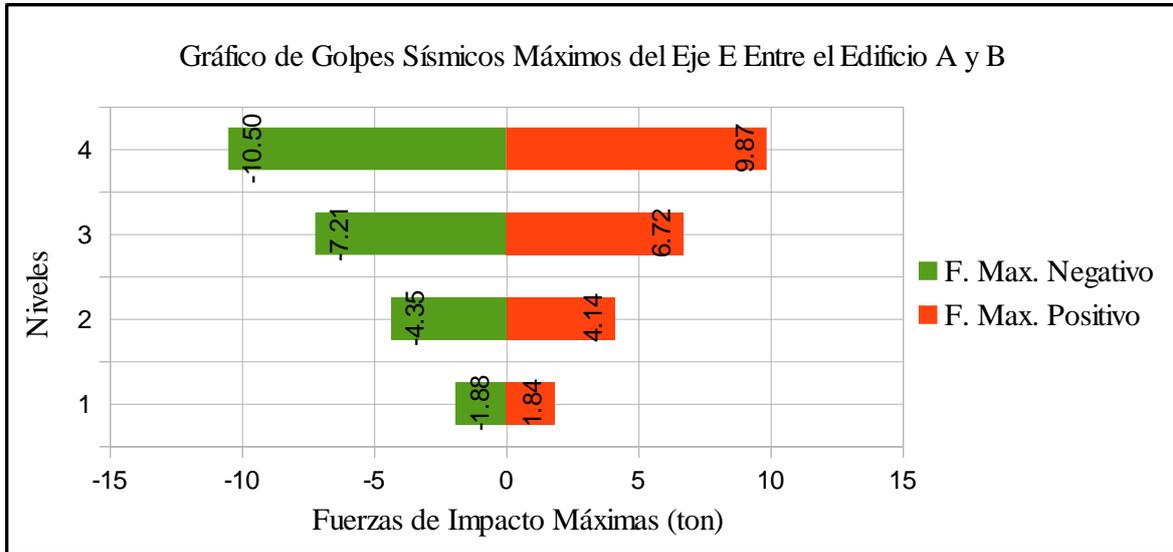
**Figura 52:**

*Fuerzas de Impacto entre las edificaciones A y B en el Eje D amortiguado*



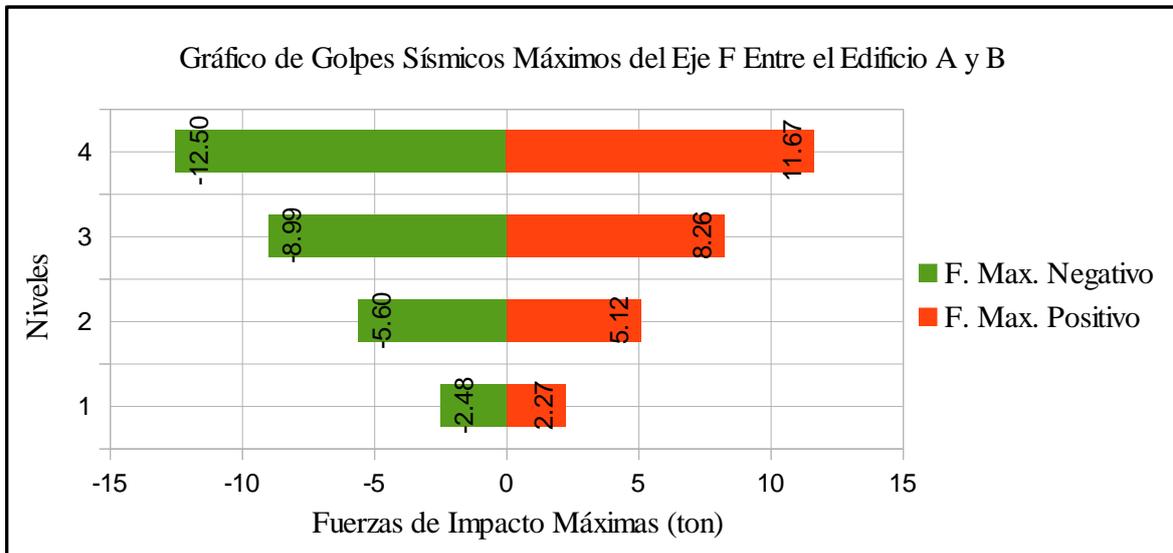
**Figura 53:**

*Fuerzas de Impacto entre las edificaciones A y B en el Eje E amortiguado*



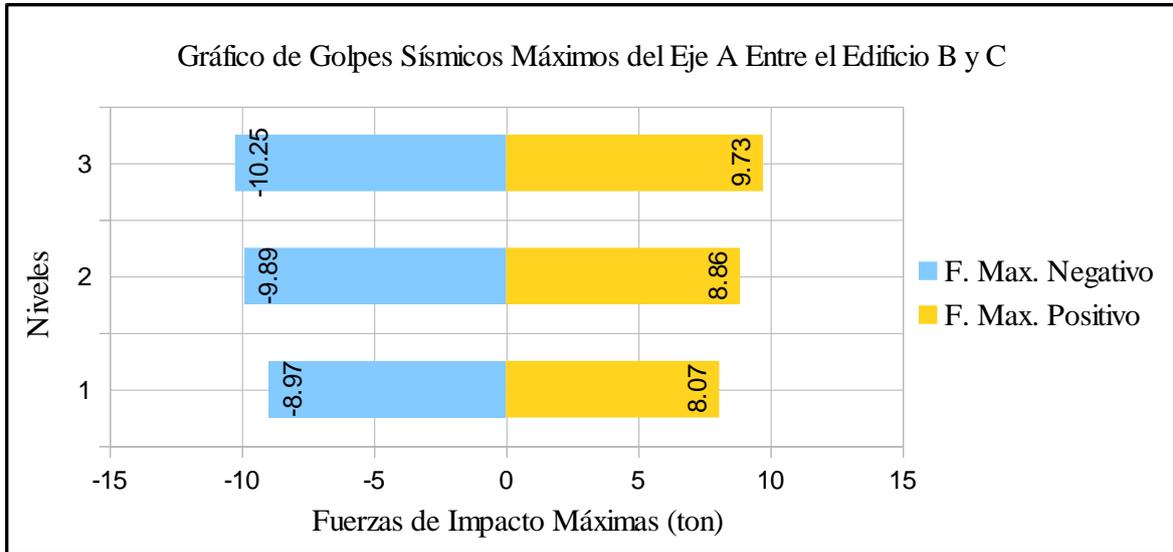
**Figura 54:**

*Fuerzas de Impacto entre las edificaciones A y B en el Eje F amortiguado*



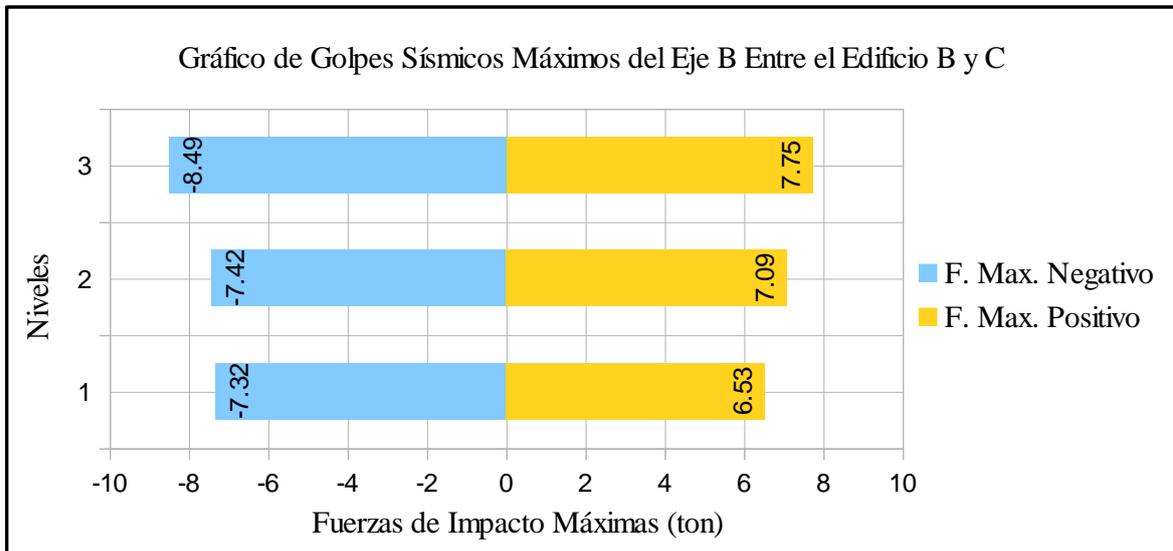
**Figura 55:**

*Fuerzas de Impacto entre las edificaciones B y C en el Eje A amortiguado*



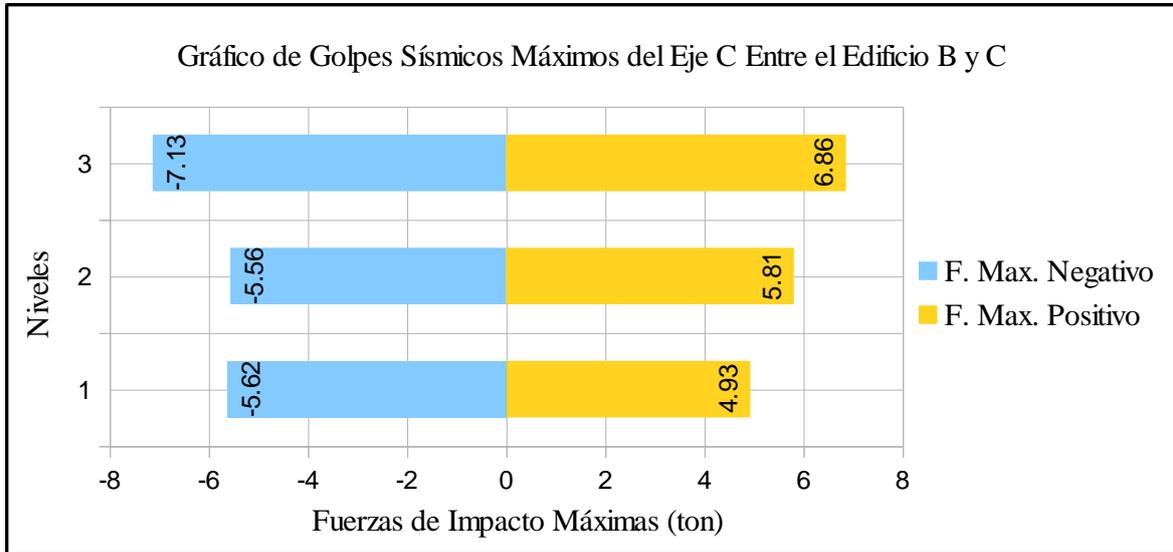
**Figura 56:**

*Fuerzas de Impacto entre las edificaciones B y C en el Eje B amortiguado*



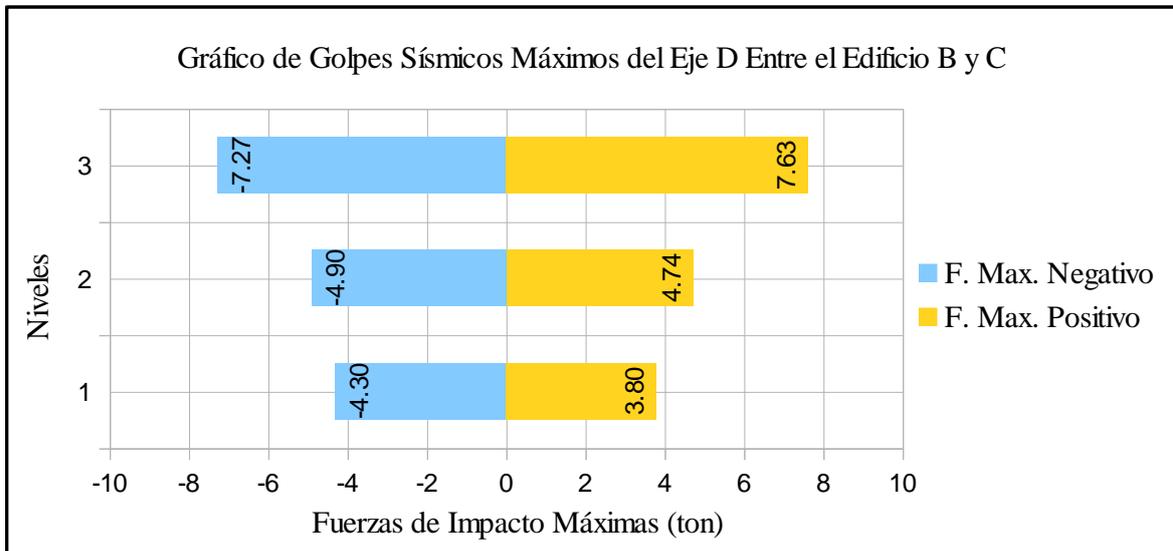
**Figura 57:**

*Fuerzas de Impacto entre las edificaciones B y C en el Eje C amortiguado*



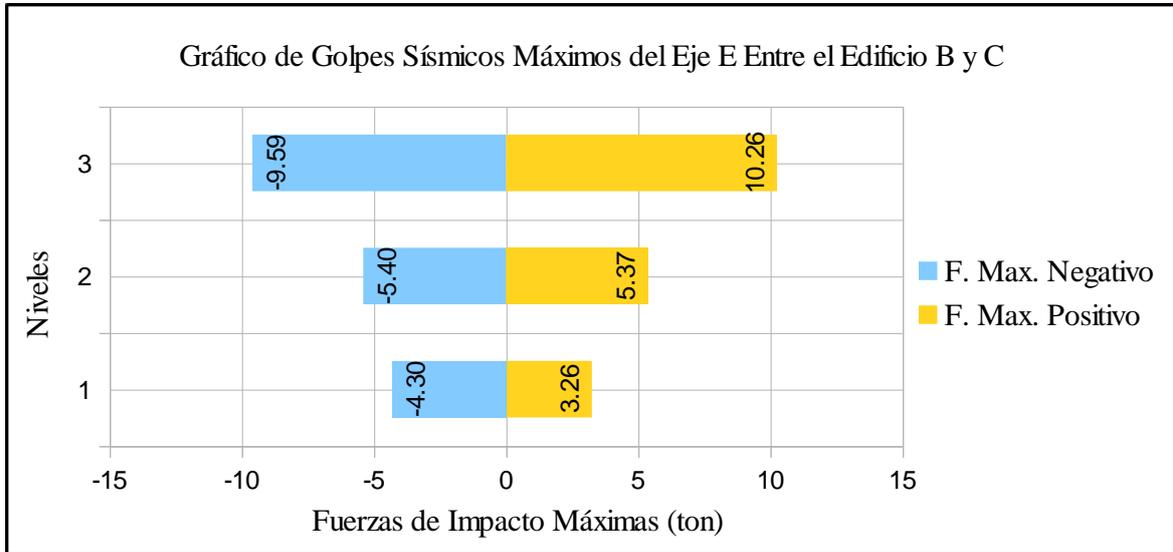
**Figura 58:**

*Fuerzas de Impacto entre las edificaciones B y C en el Eje D amortiguado*



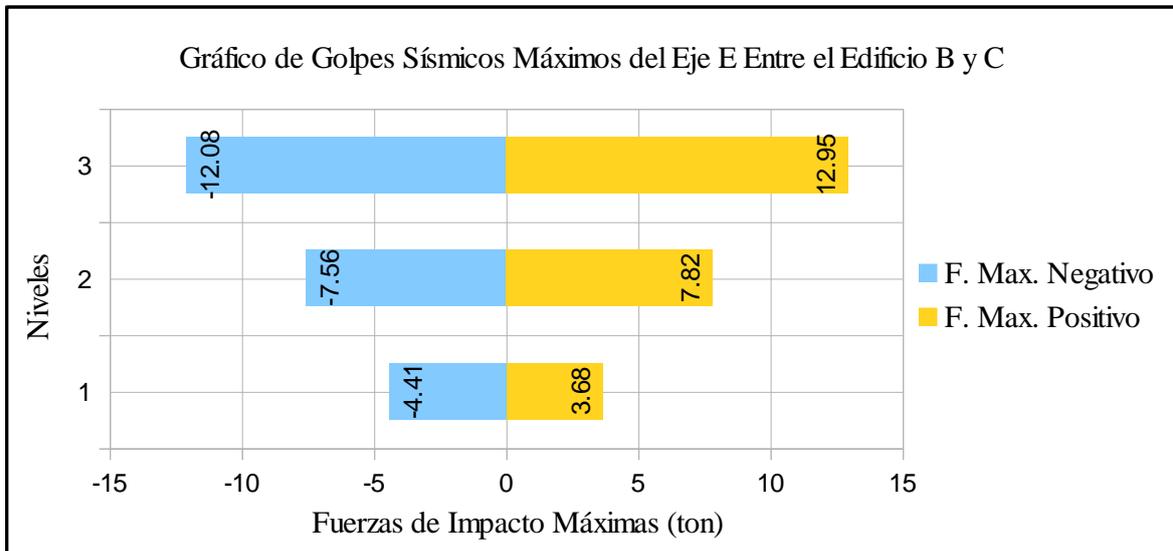
**Figura 59:**

*Fuerzas de Impacto entre las edificaciones B y C en el Eje E amortiguado*



**Figura 60:**

*Fuerzas de Impacto entre las edificaciones B y C en el Eje F amortiguado*



## 2.8. Análisis de Datos

La presente investigación es un diseño no experimental, transversal y explicativa, ya que los datos obtenidos se obtuvieron en un instante del tiempo, para ello se hace el uso de la estadística descriptiva con la ayuda del software OpenOffice y Excel. La estadística descriptiva se encarga de recoger, almacenar, ordenar, realizar tablas o gráficos y calcular parámetros básicos sobre el conjunto de datos obtenidos; para los modelos matemáticos se emplearon figuras, en los que se aprecian imágenes explicativas para el mejor entendimiento de la investigación, así también, para los datos numéricos se optó por usar tablas de distribución de frecuencia, los que resumen de manera ordenada los datos procesados, además también se usó graficas de barras, para una ilustración más didáctica de los datos obtenidos.

## 2.9. Aspectos Éticos

La presente investigación presenta datos reales obtenidos de campo, los que fueron usados en el desarrollo de los modelos matemáticos, esto con la finalidad de brindar una explicación lógica de los resultados que se obtengan de las variables en estudio, todo ello se realiza siempre respetando la ética en la investigación. La ética en las investigaciones debe de representar un juicio sobre su importancia social, científica o clínica; debe plantear una intervención que conduzca a mejoras en las condiciones de vida o en el bienestar de la población, o que produzca conocimiento que pueda abrir oportunidades de superación o de solución a problemas, aunque no sea en forma inmediata. El valor social o científico debe ser un requisito ético, entre otras razones por el uso responsable de recursos limitados (esfuerzo, dinero, espacio, tiempo) y para evitar la explotación. Esto asegura que las personas no sean expuestas a riesgos o a agresiones sin la posibilidad de algún beneficio personal o social (Gonzales M. 2002, p.3).

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

El análisis numérico que se llevó a cabo en el procedimiento fueron tres casos, el primer caso es para simular el movimiento de las estructuras sin golpe sísmico, el segundo caso es considerando el efecto Pounding y como tercer caso es el control sísmico aplicando amortiguadores en las juntas sísmicas, los resultados se presentaran a continuación con las comparaciones e interpretaciones correspondientes, para la verificación de la eficiencia de la propuesta de control sísmico.

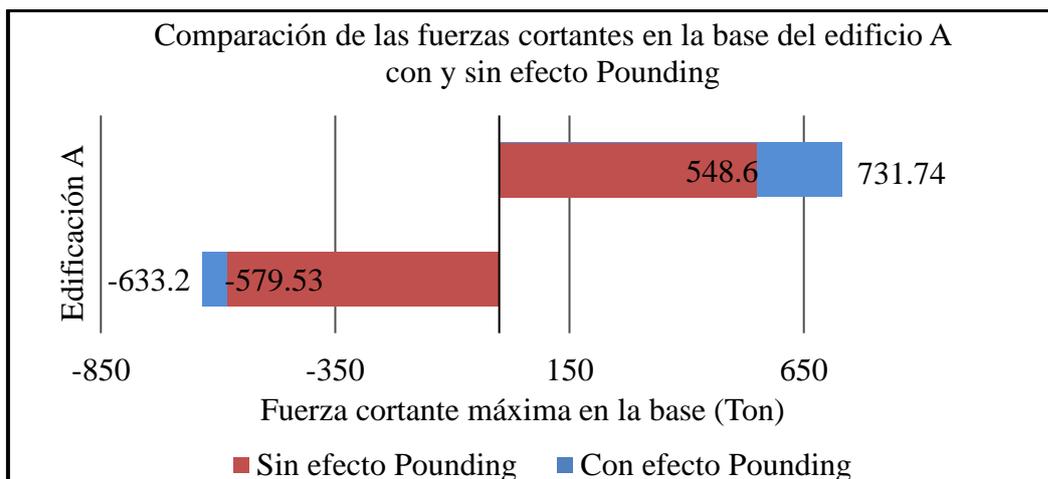
#### 3.1. Efecto de los Golpes Sísmicos

##### *Fuerzas Cortantes Máximas en la Base*

Se presenta a continuación figuras con los resultados de las fuerzas cortantes en las bases de cada edificación, dichas fuerzas serán para el caso de sin efecto Pounding y con efecto Pounding; considerando que las fuerzas cortantes son las máximas en el transcurso del tiempo.

##### **Figura 61:**

*Comparación de las fuerzas cortantes en la base de la edificación A con y sin efecto Pounding*

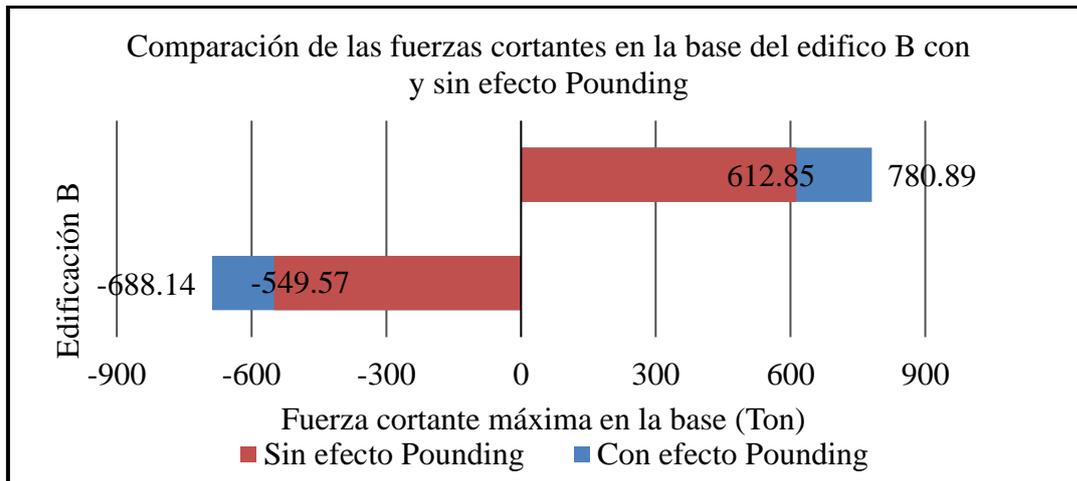


Las fuerzas cortantes en la base para el edificio A se incrementa debido al efecto Pounding, la fuerza cortante hacia la derecha (positivo) se incrementa en un 33.40% a causa

del golpe sísmico, así también hacia la izquierda (negativo) se incrementa en un 9.30% generada por el efecto Pounding.

**Figura 62:**

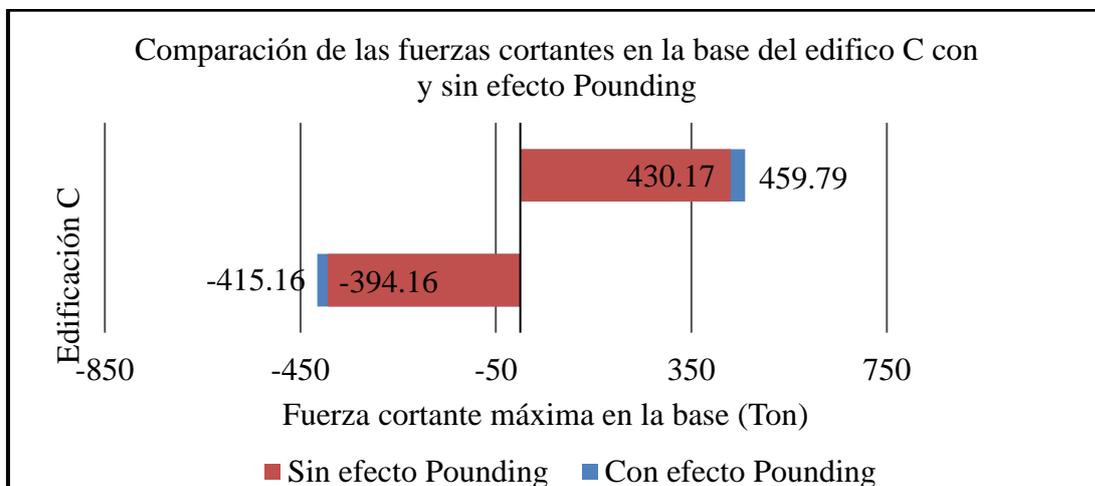
*Comparación de las fuerzas cortantes en la base de la edificación B con y sin efecto Pounding*



Para el edificio B, los incrementos de las fuerzas cortantes en la base fueron en porcentajes muy similares, hacia la derecha (positivo) se acrecienta en un 27.4% producida por el golpe sísmico, del mismo hacia la izquierda (negativo) se amplía en un 25.2% con respecto a la cortante sin efecto Pounding.

**Figura 63:**

*Comparación de las fuerzas cortantes en la base de la edificación C con y sin efecto Pounding*



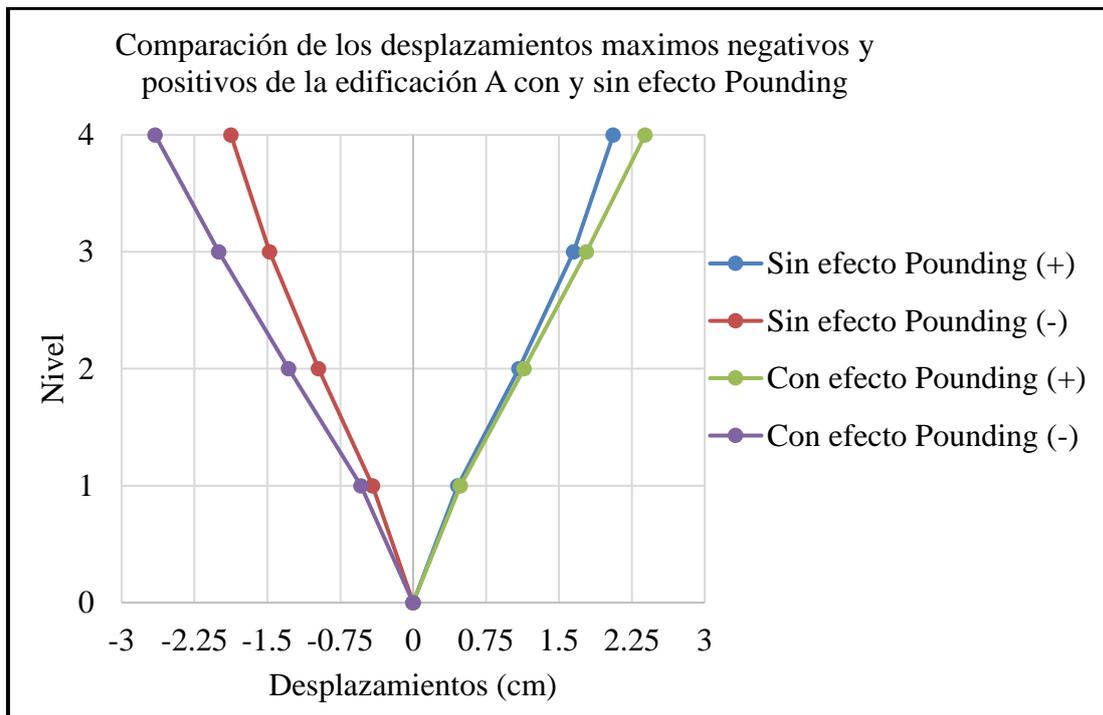
Para el edificio C, las fuerzas cortantes se amplían en porcentajes bajos a diferencia de las otras edificaciones, la fuerza cortante en la base hacia la derecha (positivo) se intensifica en un 6.90%, mientras que hacia la izquierda (negativa) se eleva a 5.30% a causa del efecto Pounding.

***Desplazamientos y Derivas Máximas de Entrepiso***

Se presenta a continuación figuras con los resultados de los desplazamientos y derivas máximas de cada edificación, para los casos de sin y con efecto Pounding, esto teniendo en cuenta que los datos obtenidos son los máximos positivos y negativos en el transcurso del tiempo.

**Figura 64:**

*Comparación de los desplazamientos máximos negativos y positivos de la edificación A con y sin efecto Pounding*

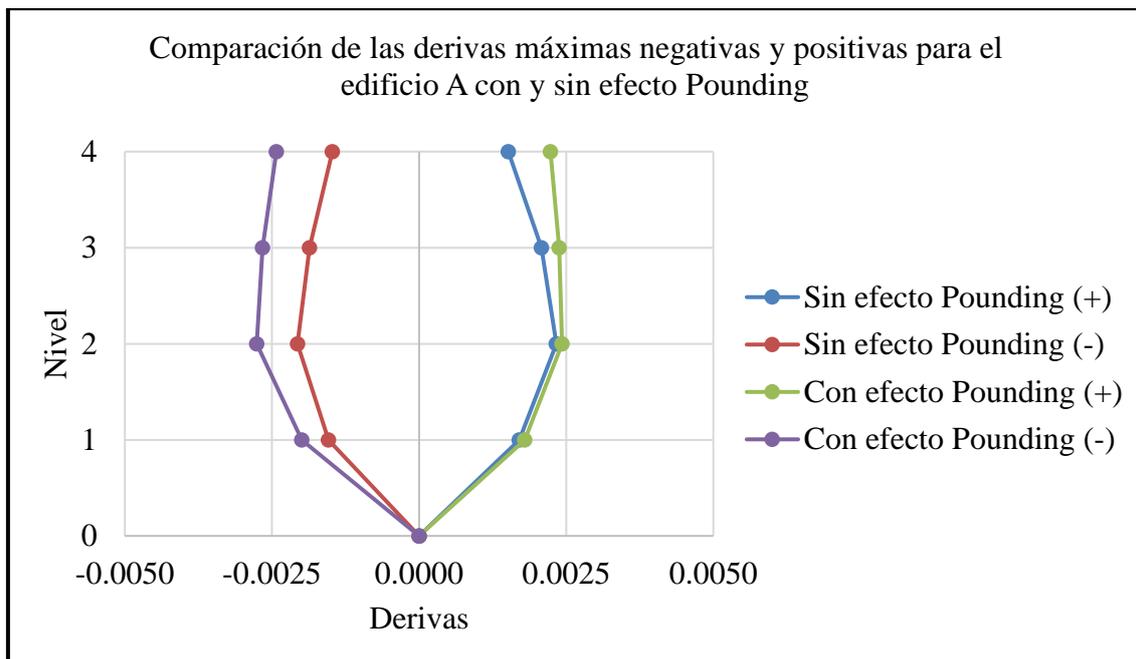


El desplazamiento máximo para el edificio A, cuando presente efecto Pounding se amplifica, y es así como el desplazamiento hacia la derecha es menor, esto respuesta se debe a que hacia la derecha se ve restringido con el edificio B, ya que ocurre el golpe y limita su

desplazamiento naturalmente. El desplazamiento hacia la derecha se incrementa debido al efecto Pounding en un 16% con respecto al caso de sin efecto Pounding, del mismo modo el desplazamiento hacia la izquierda aumenta en un 42% en relación con el caso de sin efecto Pounding.

**Figura 65:**

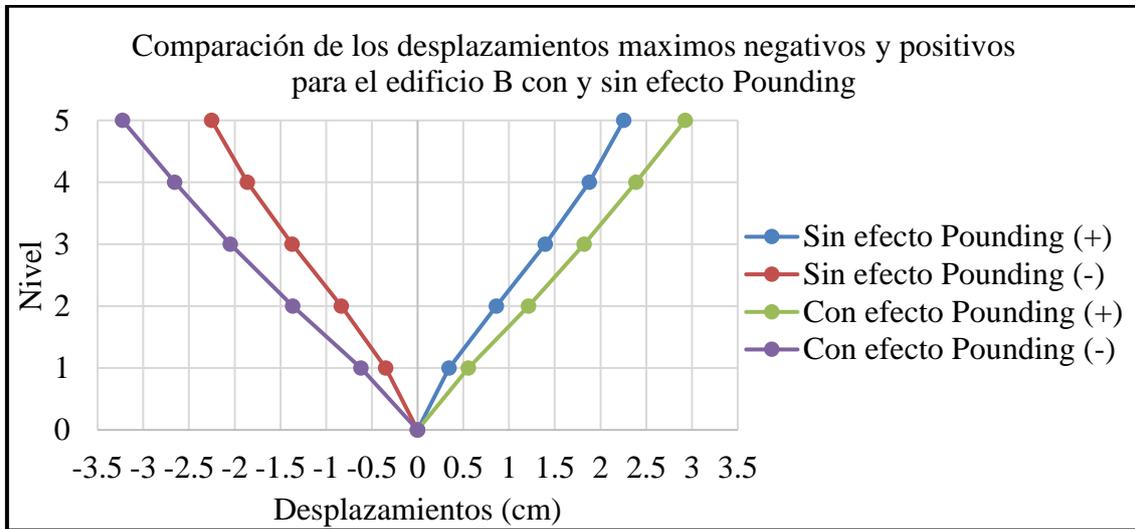
*Comparación de las derivas máximas negativas y positivas de la edificación A con y sin efecto Pounding*



Las derivas para el edificio A, se amplifican en todos los niveles, pero con mayor incidencia en el cuarto piso, esto debido a los golpes sísmicos que existen entre las edificaciones A y B. Las derivas hacia la izquierda son mayores en comparación que hacia la derecha, es así como la deriva hacia la derecha se amplía en un 47% con respecto al caso de sin efecto Pounding, del mismo modo la deriva hacia la izquierda se adiciona en un 65% en relación con el caso de sin efecto Pounding.

**Figura 66:**

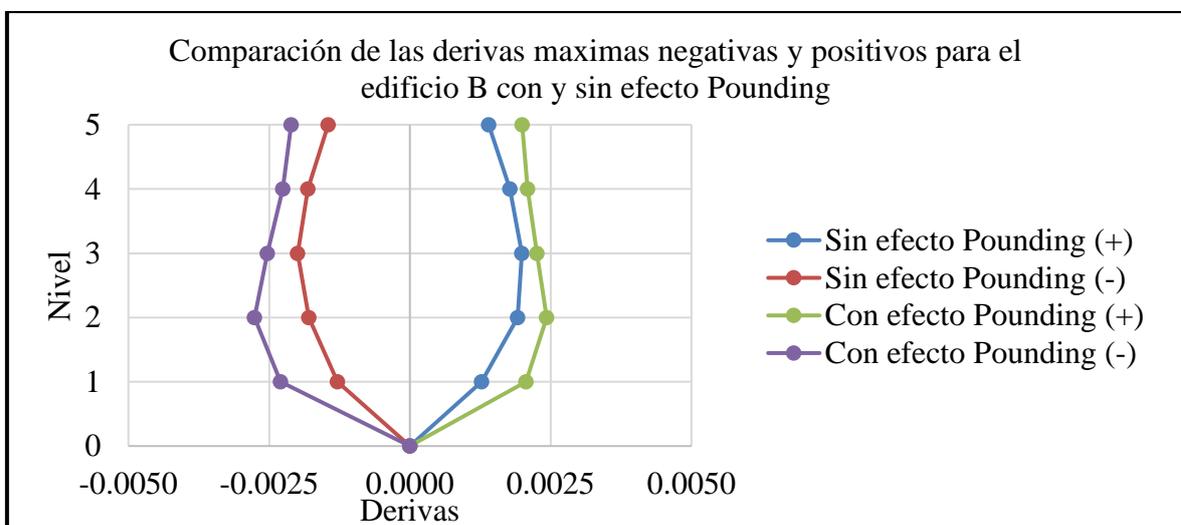
*Comparación de los desplazamientos máximas negativas y positivas de la edificación B con y sin efecto Pounding*



Para el edificio B, los desplazamientos se incrementan debido al golpe sísmico, para el lado izquierdo en mayor medida que hacia la derecha, es así como el primer nivel presenta un mayor porcentaje de desplazamiento que los otros niveles, el incremento es en un 62% en el primer hacia la derecha debido al efecto Pounding, mientras que hubo un aumento de un 78% hacia el lado izquierdo.

**Figura 67:**

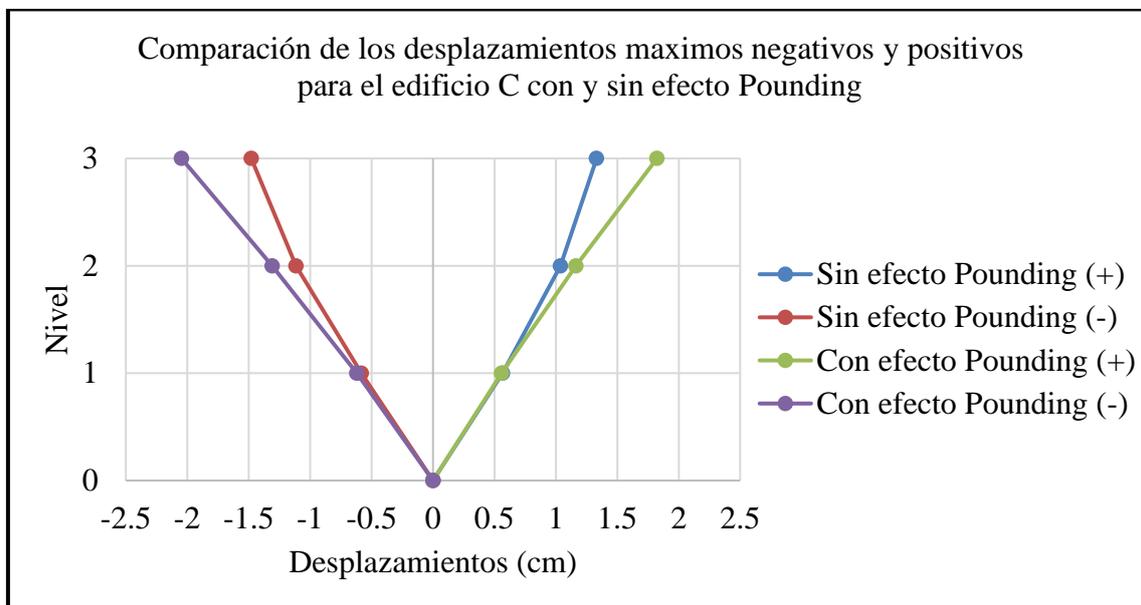
*Comparación de las derivas máximas negativas y positivas de la edificación B con y sin efecto Pounding*



Las derivas en el edificio B, son incrementados debido al efecto Pounding, pero como se aprecia en la figura anterior los que sufren una mayor ampliación son los dos primeros pisos, esto se debe a que el edificio B es golpeada por el edificio A de cuatro niveles y el edificio C de tres niveles, es así como el porcentaje que aumento el primer nivel en su deriva debido al efecto Pounding es de 62% hacia la derecha, y de manera similar hacia el lado izquierdo el incremento es del 78% con respecto al caso de sin efecto Pounding.

**Figura 68:**

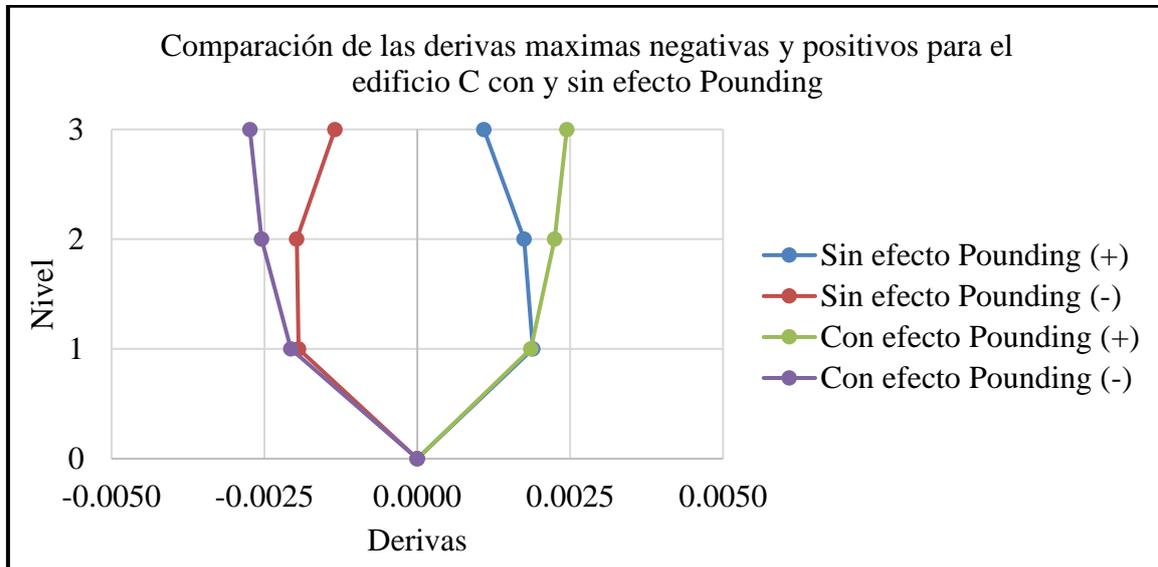
*Comparación de los desplazamientos máximas negativas y positivas de la edificación C con y sin efecto Pounding*



El desplazamiento en el edificio C, se ve ampliada en mayor medida en el tercer nivel, esto ya que adquiere el golpe sísmico del edificio B de cinco niveles, que se ubica al lado izquierdo, es así como hacia la derecha el desplazamiento se incrementa en un 37% y mientras que hacia el lado izquierdo en un 38% en relación para el caso de sin efecto Pounding.

**Figura 69:**

*Comparación de las derivas máximas negativas y positivas de la edificación C con y sin efecto Pounding*



Las derivas en el edificio C, presenta un incremento sumamente alto en el tercer nivel a diferencia de los otros niveles, hacia la derecha presenta una ampliación de la deriva en un 124% en relación con el caso de sin efecto Pounding, mientras que el aumento de la deriva hacia el lado izquierdo es del 103%.

### 3.2. Control de Golpes Sísmicos

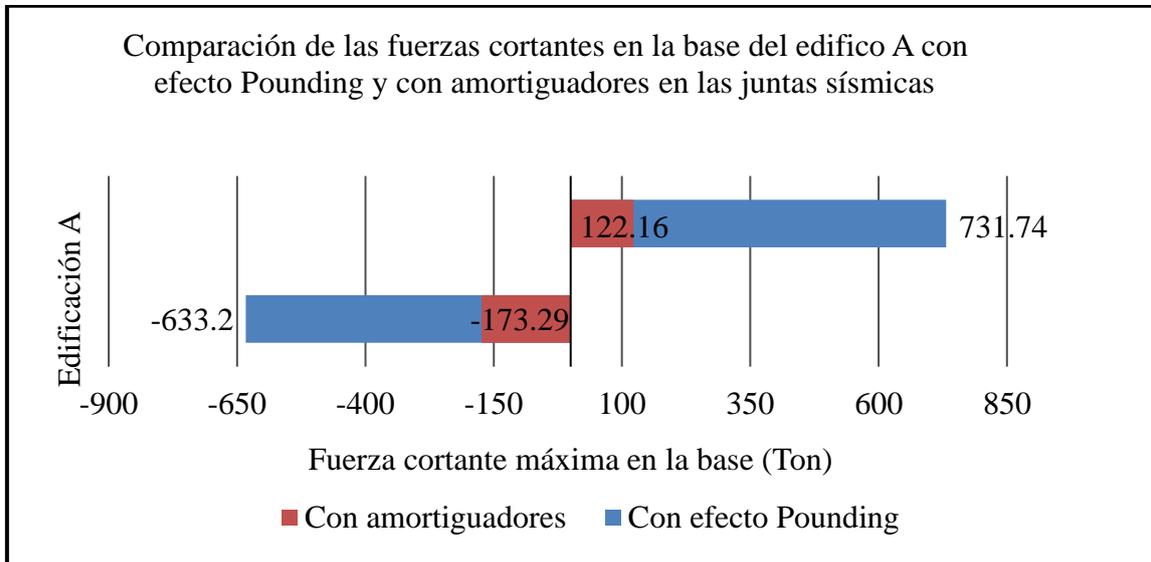
Con la finalidad de controlar el efecto Pounding entre las edificaciones colindantes, se realizó el análisis incorporando amortiguadores en las juntas sísmicas.

#### *Fuerzas Cortantes Máximas en la Base*

Se presenta a continuación figuras con los resultados de las fuerzas cortantes en las bases de cada edificación, serán comparaciones de fuerzas para cuando existe el efecto Pounding y cuando se adicione amortiguadores en las juntas sísmicas; considerando que las fuerzas cortantes son las máximas en el transcurso del tiempo.

**Figura 70:**

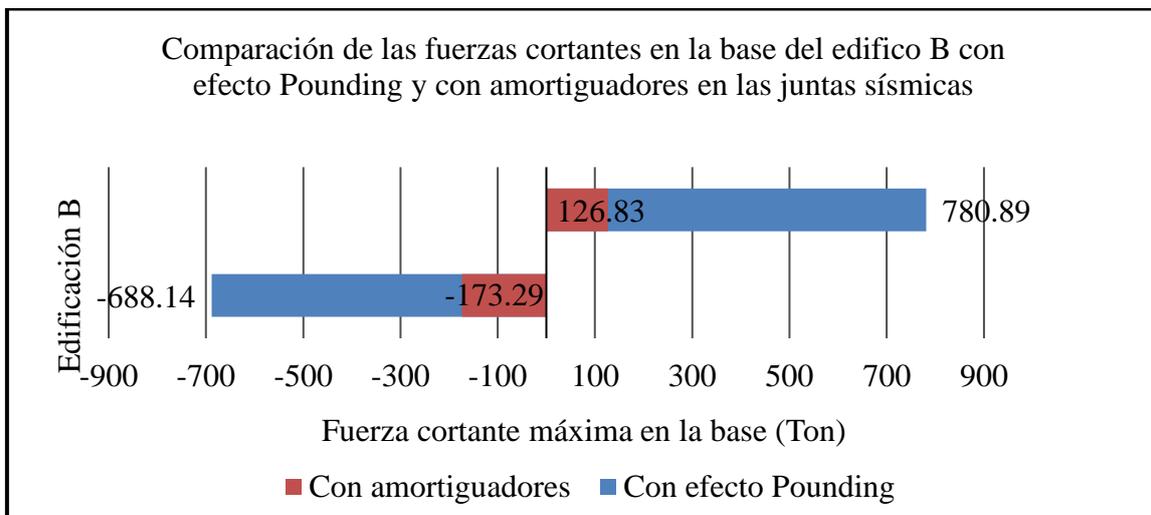
*Comparación de las fuerzas cortantes en la base de la edificación A con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas*



La fuerza cortante en la base de la edificación A, presenta una disminución significativa a consecuencia del uso de amortiguadores en las juntas sísmicas, es así como la fuerza cortante hacia la derecha presenta una reducción del 83%, del mismo modo la fuerza cortante hacia el lado izquierdo desciende en un 73%.

**Figura 71:**

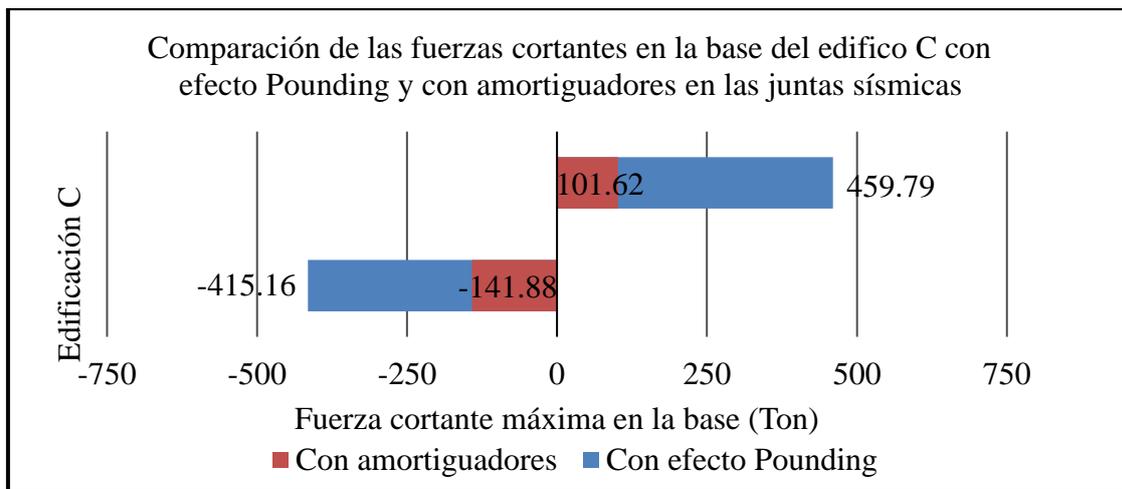
*Comparación de las fuerzas cortantes en la base de la edificación B con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas*



Para el edificio B, las fuerzas cortantes en la base bajan en gran medida a consecuencia del uso de los amortiguadores en las juntas sísmicas, las dichas fuerzas cortantes en la base hacia la derecha se aminoran en un 84%, así también hacia el lado izquierdo se reduce en un 75%.

**Figura 72:**

*Comparación de las fuerzas cortantes en la base de la edificación C con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas*



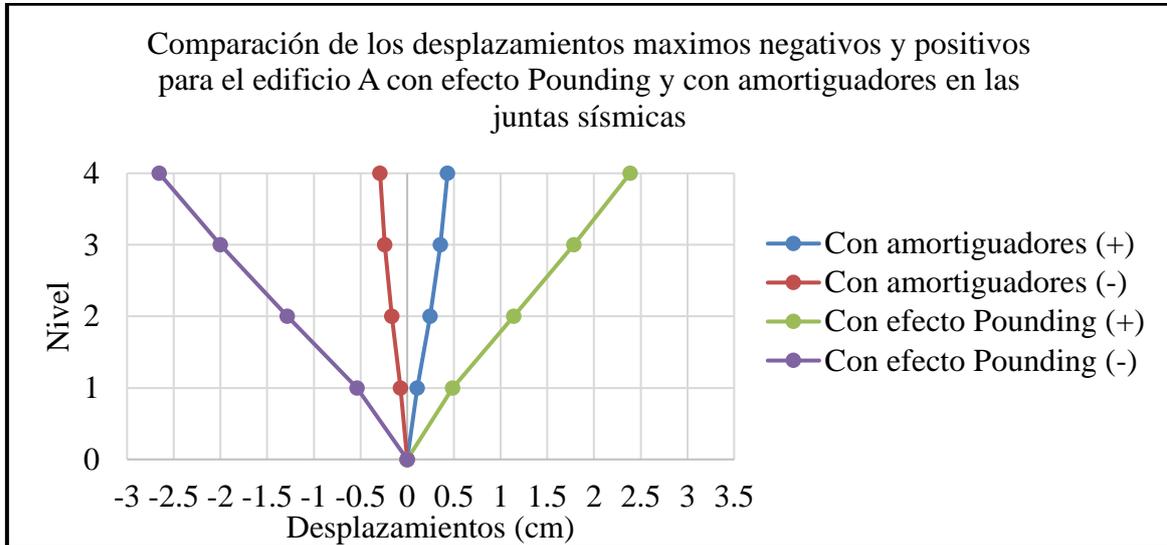
Así también, en el edificio C se presenta una resta en la fuerza cortante en la base, hacia la derecha la fuerza cortante baja en un 78%, de la misma manera hacia el lado izquierdo mengua en un 66%.

***Desplazamientos y Derivas Máximas de Entrepiso***

Se presenta a continuación figuras con los resultados de los desplazamientos y derivas máximas de cada edificación, serán comparaciones para cuando existe el efecto Pounding y cuando se adicione amortiguadores en las juntas sísmicas, esto teniendo en cuenta que los datos obtenidos son los máximos positivos y negativos en el transcurso del tiempo.

**Figura 73:**

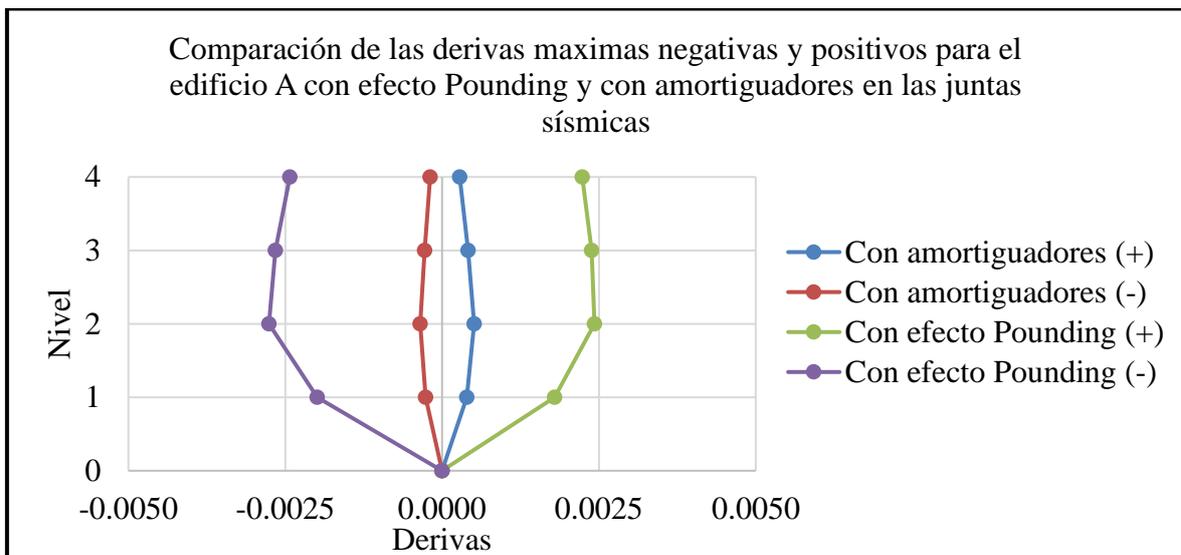
*Comparación de los desplazamientos máximos negativos y positivos de la edificación A con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas*



El desplazamiento en el edificio A, presenta un gran descenso en todos los niveles, siendo el cuarto nivel es de mayor porcentaje de reducción, el desplazamiento amortiguado hacia el lado derecho se ve aminorada en un 82% en relación con el desplazamiento golpeado, de misma forma hacia el lado izquierdo baja en un 89%.

**Figura 74:**

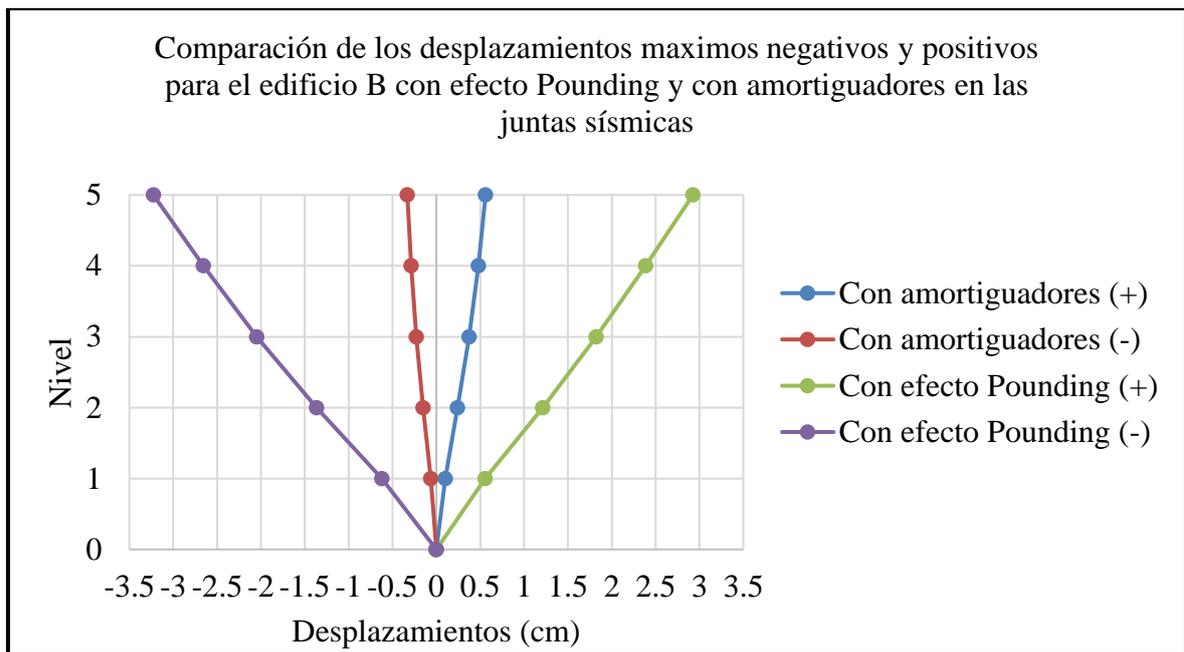
*Comparación de las derivas máximas negativas y positivas de la edificación A con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas*



Las derivas en el edificio A, se acortan en gran medida en todos los niveles a consecuencia de los amortiguadores en las juntas sísmicas, pero es el cuarto el de mayor medida, es decir, hacia el lado derecho presenta una reducción del 87% en relación con la deriva golpeada, y hacia el lado izquierdo se mengua en un 92%.

**Figura 75:**

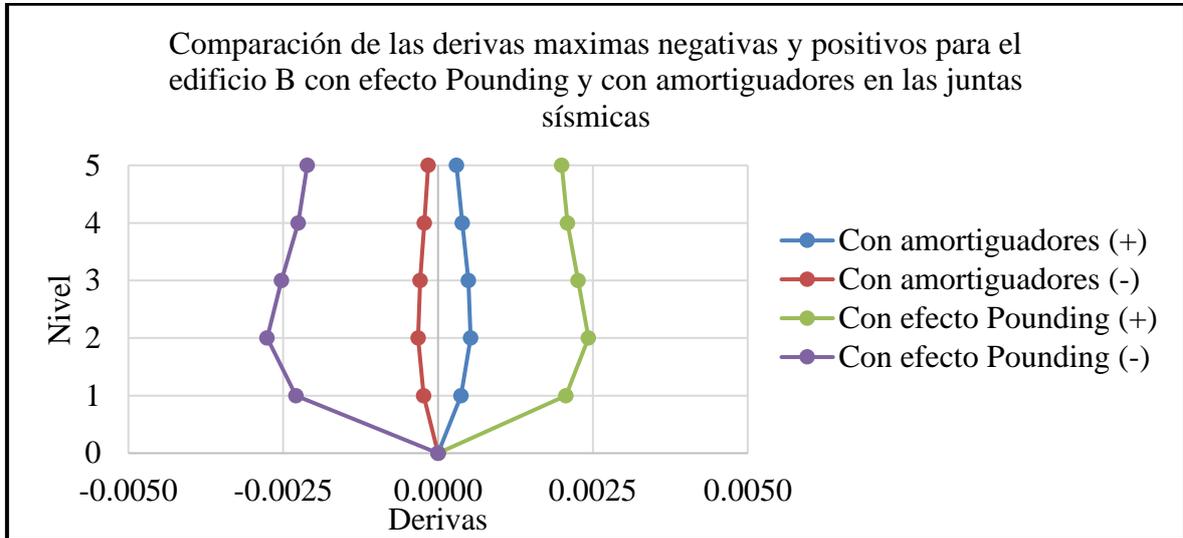
*Comparación de los desplazamientos máximos negativos y positivos de la edificación B con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas*



Los desplazamientos para el edificio B, se rebajan en todos los niveles de manera similar en porcentaje, pero lo que se puede destacar es la reducción de los desplazamientos en los dos primeros niveles, ya que son los que más están comprometidos debido al golpe sísmico, es así como hacia el lado derecho se acorta en un 82%, mientras que hacia el lado izquierdo se reduce en un 90% en relación con el desplazamiento golpeado.

**Figura 76:**

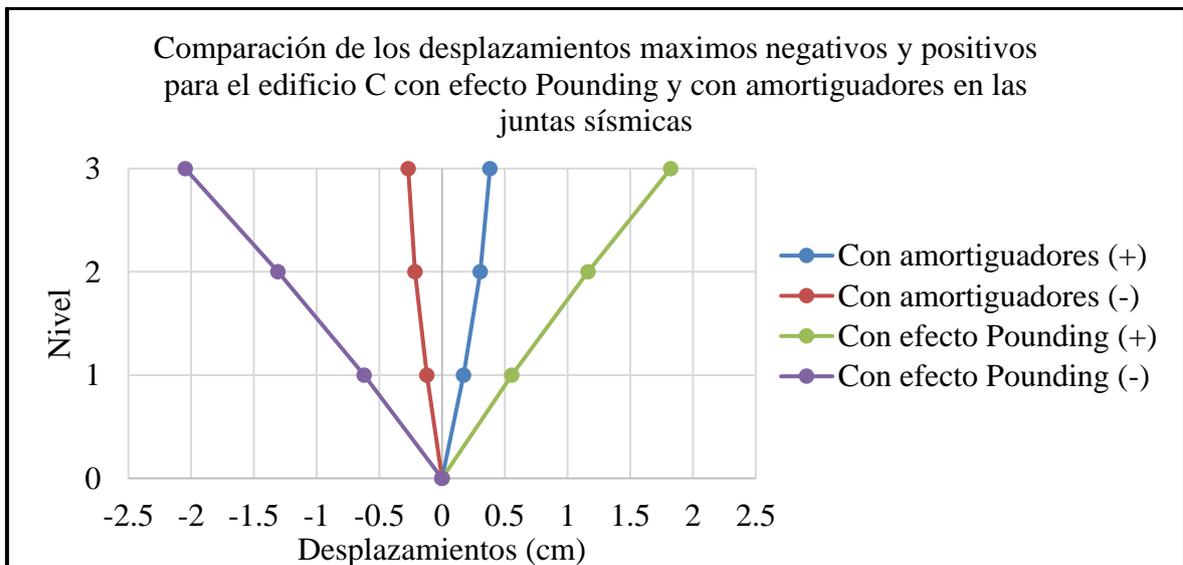
*Comparación de las derivas máximas negativas y positivas de la edificación B con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas*



Así también, la derivas en el edificio B se ve atenuada en gran medida en todos los niveles, pero los dos primeros niveles son los que más descendieron a comparación de los otros niveles. La deriva amortiguada hacia el lado derecho disminuye en un 82%, y hacia el lado izquierdo se deprecia en un 90% en relación con la deriva con el efecto Pounding.

**Figura 77:**

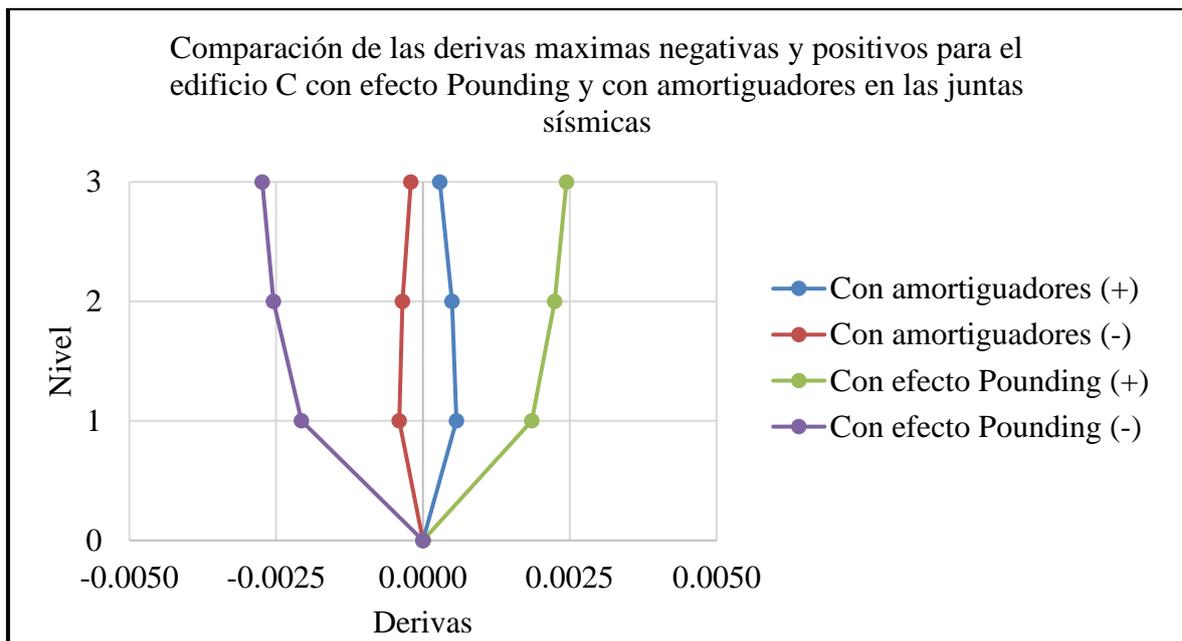
*Comparación de los desplazamientos máximos negativos y positivos de la edificación C con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas*



El desplazamiento en el edificio C, se empequeñece en gran porcentaje debido al amortiguamiento en las juntas sísmicas, y es el tercer nivel con mayor incidencia, esto es que hacia el lado derecho se reduce en un 79%, y hacia el lado izquierdo se baja en un 87% en relación con el desplazamiento golpeado.

**Figura 78:**

*Comparación de las derivas máximas negativas y positivas de la edificación C con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas*



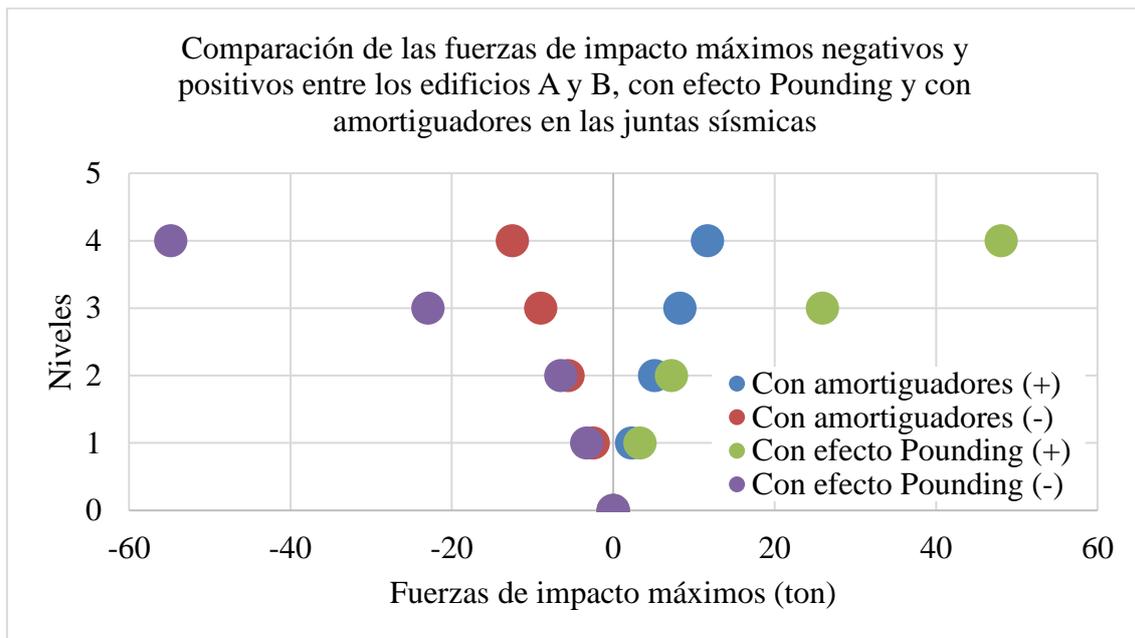
Para el caso de las derivas en el edificio C, como se aprecia en la figura anterior, se merma en porcentajes altos y el con mayor medida es el tercer nivel, es así como hacia el lado derecho se deprecia en un 88%, y hacia el lado izquierdo se degrada en un 93% respecto al caso golpeado.

### Comparación de las Fuerzas de Colisión

Se presenta a continuación figuras con los resultados de Las fuerzas de colisión máximas en ambas juntas sísmicas, es decir, para las juntas entre los edificios A - B y B - C, serán comparaciones para cuando existe el efecto Pounding y cuando se adicione amortiguadores en las juntas sísmicas, esto teniendo en cuenta que los datos obtenidos son los máximos positivos y negativos en el transcurso del tiempo, además que se presentara el resultado más representativo de cada junta sísmica.

#### Figura 79:

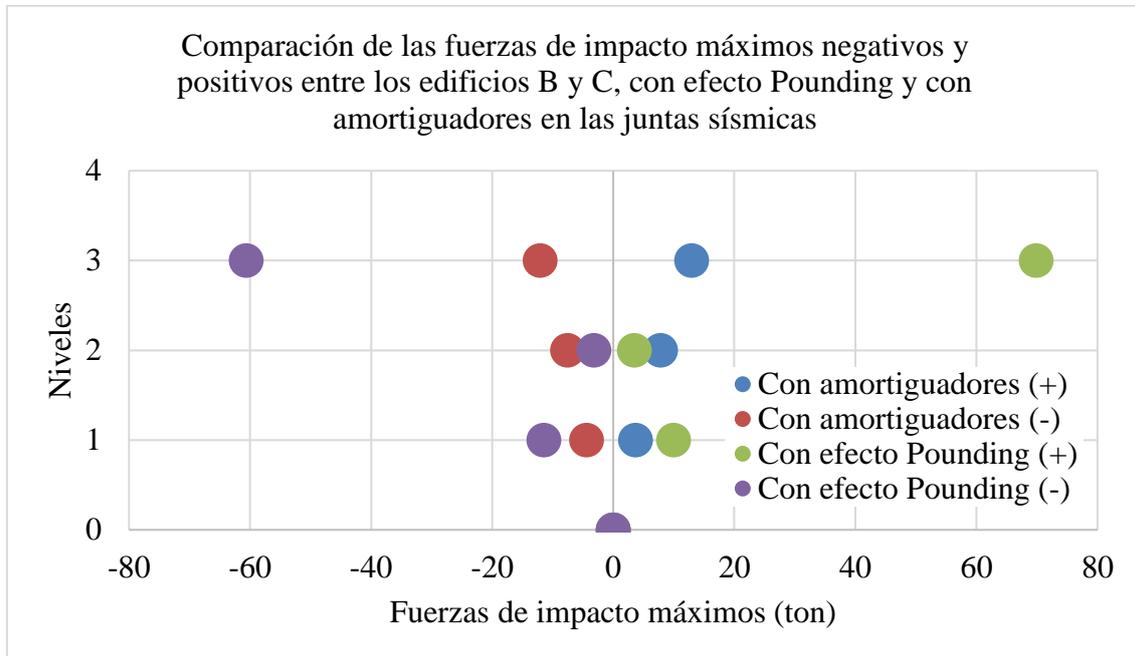
Comparación de las fuerzas de impacto máximos negativos y positivos para los edificios A y B, con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas



Las fuerzas de impacto entre el edificio A y B, se ve aminorado a consecuencia del uso de los amortiguadores en las juntas sísmicas, la reducción de las fuerzas de impacto en el cuarto y tercer nivel son los más significativos, es así como la fuerza de impacto hacia la derecha disminuye en un 76% en el cuarto nivel, del mismo modo hacia el lado izquierdo se atenúa en un 77%, en relación con el caso que presenta efecto Pounding.

**Figura 80:**

*Comparación de las fuerzas de impacto máximas negativas y positivas entre los edificios B y C, con efecto Pounding y con amortiguadores en las juntas sísmicas*



Las fuerzas de impacto entre le edificio B y C, bajan en todos los niveles a raíz del uso de los amortiguadores entre las juntas sísmicas, el tercer nivel es quien presenta mayor fuerza de impacto, por ende, es el que más se reduce cuando se usa los amortiguadores, para el tercer nivel la fuerza de impacto hacia la derecha se recorta en un 81%, así también hacia el lado izquierdo se acorta en un 80%.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Discusión

La evaluación del efecto Pounding, en la respuesta estructural de las tres edificaciones multifamiliares colindantes con insuficiente junta sísmica, consistió en realizar el análisis de tres casos en particular, para ello se aplicó una aceleración en el terreno (sismo de 1966 en Lima-Callao), el primer caso consistió en evaluar la respuesta estructural de la edificación sin el efecto Pounding, el segundo caso se trata de analizar cuando existe el golpe sísmico y para el tercer caso se plantea una alternativa de control de golpes sísmicos, esto consiste en analizar a los modelos de las edificaciones enlazados con amortiguadores ubicadas en las juntas sísmicas, estos amortiguadores llamados “Rubber Isolator Building”, que son placa amortiguadora de vibración que están hechos de gránulos de cauchos de alta resistencia, que básicamente aporta a la disipación de la energía de los golpes sísmicos entre las edificaciones colindantes.

Castillo et al. (2019) realizó un trabajo de investigación, el cual tuvo como objetivo analizar y determinar la fuerza de impacto de las estructuras colindantes de concreto armado de 5 y 12 pisos, generado durante el movimiento sísmico, con juntas de separación sísmicas inferiores a lo reglamentado en la normativa peruana, presentó el análisis de tiempo historia con juntas sísmicas variables, estos fueron de 2, 4 y 6cm de separación, en los cuales las máximas fuerzas de impacto se mantuvieron entre 100 y 102 toneladas aproximadamente, aquello en el quinto nivel del edificio menor, para el caso de la fuerza cortante en la base presenta un incremento a causa del efecto Pounding, de 4 veces en relación al análisis dinámico espectral. En cambio, en el presente estudio se estudió sistemas estructurales de albañilería confinada, con altura máxima de 5 pisos o 15m, según el RNE E.070, la junta sísmica no fue variable, fue de 5cm y se mantuvo para el análisis de todos los casos, así

también la fuerza de impacto máxima entre estructuras que se obtuvo fue de 70 toneladas, esto se presenta entre las edificaciones de 5 y 3 pisos, aquello ocurre en el tercer nivel de la estructura, y para las fuerzas cortantes máximas en la base se presentó un incremento de 2.6 veces en relación con el análisis dinámico espectral.

Elavenil et al. (2017) en su investigación tuvo como objetivo, examinar la evaluación dinámica de estructuras de hormigón y los efectos de impacto con múltiples alturas de edificaciones, estos pares de edificaciones estudiados son de: 10 y 15 pisos, 15 y 20 pisos, 20 y 25 pisos, 25 y 30 pisos; para el análisis tiempo historia y el análisis del espectro de respuesta usó el programa ETABS, luego del análisis de todos los pares de edificaciones afirma, que si la distancia de separación es inferior de 10cm, se producirán golpes sísmicos. También, como medida de control para mitigar el efecto Pounding, estudió la posibilidad de adicionar muros de corte en la dirección flexible, del cual obtuvo una reducción de las fuerzas de golpe entre un 10% y un 15% entre las dos edificaciones adyacentes, además estudio los golpes por el efecto torsional de las edificaciones. En el presente estudio, se analizó a las edificaciones con juntas sísmicas de 5cm, los cuales presentan golpes de impacto, a diferencia de la investigación descrita en principio de este párrafo, en el presente estudio se optó por analizar la eficiencia de los amortiguadores colocado entre las juntas sísmicas, para mitigar las fuerzas de colisión, con los cuales se obtuvo una reducción de los golpes de impacto entre un 76% y un 81%, para el caso de los golpes sísmicos por el efecto torsional, en esta investigación no fue relevante, ya que las edificaciones estudiadas no presentan irregularidad torsional, según el RNE E.030.

Balasubramaniam T. (2018) en su investigación que tuvo como objetivo estudiar el efecto de los golpes en edificios de mediana altura y controlar el daño debido a los golpes utilizando amortiguadores adecuados. En el estudio se han considerado dos edificios rectangulares contiguos de 8 y 6 niveles, del cual concluyo que los amortiguadores modelados demuestran ser efectivos para reducir el desplazamiento, ya que estos debido al golpe presentaban un desplazamiento máximo de 8.3cm, que se reduce a 4.4cm con ayuda de amortiguadores, además las fuerzas máximas de colisión que se presentan en el quinto nivel son de 19 KN y de 190 KN en el sexto nivel debido al efecto Pounding. Así mismo, en el presente estudio se pudo verificar la eficiencia de los amortiguadores, estos pueden reducir en un 80% aproximadamente a los desplazamientos en cada edificación, considerando que se estudió a tres edificaciones contiguas y ello también implica en la libertad del movimiento lateral, además que la fuerza máxima de impacto entre las edificaciones A y B es de 55 toneladas y de 70 toneladas entre las edificaciones B y C, con las estructuras amortiguadas estas fuerzas máximas de impacto se reducen a 12 y 12.5 toneladas respectivamente. Si bien los amortiguadores pueden mitigar los golpes sísmicos, mas no anularlos, es por ello por lo que aún permanecen los golpes sísmicos, pero ya en menor escala a diferencia de las juntas sísmicas sin amortiguadores.

## 4.2. Conclusiones

De la evaluación del efecto Pounding, en las tres edificaciones multifamiliares colindantes con insuficientes juntas sísmicas, se puede precisar que el golpe sísmico altera la respuesta estructural de cada una de las edificaciones, son los parámetros globales de las estructuras los que se ven modificadas, es así como se plantea una medida de control de los golpes, y se evalúa a las estructuras incorporando amortiguadores en las juntas sísmicas, eso conlleva a juntar a las tres edificaciones, para unirlos mediante los amortiguadores y así se pueda minimizar el efecto Pounding.

En primera instancia, las fuerzas cortantes máximas en la base de cada edificación multifamiliar se ven modificadas a causa del efecto Pounding; es así como en la edificación “A” la fuerza cortante en la base se intensifica en un 21%, en la edificación “B” se incrementa en un 26% y en el edificio “C” se adiciona en un 6%. Con el uso de amortiguadores en las juntas sísmicas, se mide la eficiencia de este, y efectivamente se ve una reducción en las fuerzas cortantes de las bases de cada edificación, para la edificación “A” se aminora en un 78%, del mismo modo la edificación B disminuye en un 79% y en el edificio “C” se acorta en un 72%.

En segunda instancia, los desplazamientos laterales y derivas máximas, en cada una de las edificaciones se amplifican a causa del efecto Pounding. En el edificio “A” presenta un desplazamiento y deriva mayor hacia el lado izquierdo y ocurre en su último nivel, es así como el desplazamiento hacia el lado derecho se acrecienta en un 16% y hacia el lado izquierdo en un 42%, de manera similar la deriva hacia el lado derecho se amplía en un 47% y hacia el lado izquierdo en un 65%. En el edificio “B” el comportamiento en la estructura es de un modo particular, ya que el desplazamiento y deriva máxima con mayor porcentaje de aumento se presentan en el primer nivel, es así como el desplazamiento y deriva hacia el

lado izquierdo se agranda en un 78% y hacia el lado derecho en un 62%. En el edificio “C” los desplazamientos y derivas máximas con mayor porcentaje se presentan en el tercer nivel, es así como el desplazamiento se incrementa hacia el lado derecho en un 37% y hacia el lado izquierdo en un 38%, para el caso de las derivas se ve un crecimiento muy alto, debido a que es la estructura de menor altura en estudio, es así como la deriva se amplía hacia el lado derecho en un 124% y hacia el lado izquierdo en un 103%.

En tercera instancia, Las magnitudes de las fuerzas de colisión entre estructuras colindantes debido al efecto Pounding, son versátiles en el transcurso del tiempo en que ocurre el sismo, pero se tomó lectura de las fuerzas máximas de choque ocurridos, en la junta sísmica entre las edificaciones A y B existe una fuerza de colisión máxima de 55 toneladas, mientras que para la junta sísmica entre las edificaciones B y C se halló una fuerza de impacto máximo de 70 toneladas. Se puede precisar que la edificación de menor altura genera una mayor fuerza de colisión, entre edificaciones colindantes con insuficiente junta sísmica.

En cuarta instancia, la incorporación de amortiguadores en las juntas sísmicas, para mitigar los golpes sísmicos entre las estructuras colindantes, es una medida de control que ayuda a disminuir el efecto Pounding y librar a las edificaciones en gran medida de los golpes de impacto. La eficacia de los amortiguadores en esta investigación fue satisfactoria, ya que las fuerzas de impacto máximo entre la edificación A y B disminuyeron en un 76%, del mismo modo entre las edificaciones B y C se redujeron en un 81%.

### 4.3. Recomendaciones

Se recomienda a profesionales o entidades interesadas, sobre el efecto Pounding en edificaciones colindantes, a realizar investigaciones experimentales en la que se pueda obtener resultados más precisos e idóneos, para ampliar el conocimiento acerca del tema.

Se recomienda a los profesionales consultores y ejecutores, quienes desarrollan los planos estructurales y ejecutan las edificaciones, a tener presente la importancia de la junta sísmica entre edificaciones colindante, según el RNE E.030.

Se recomienda a futuros investigadores que deseen profundizar, a desarrollar la evaluación del efecto Pounding en edificaciones colindantes con presencia de irregularidad torsional, según el RNE E.030.

Se recomienda a futuras investigaciones, plantear la evaluación del efecto Pounding en edificaciones contiguas, un análisis no lineal tiempo-historia, según RNE E.030.

Se recomienda a futuras investigaciones, desarrollar el análisis del efecto Pounding en edificaciones colindantes con diversos tipos de suelos y/o considerando la interacción suelo-estructura.

## Referencias

- Abdeddaim, M., Ounis, A., Djedoui, N., y Shrimali, M. K. (2016). Reduction of pounding between buildings using fuzzy controller. *Asian Journal of Civil Engineering*, 17(7), 985-1005. Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com).
- Castillo S. Y Flores j. (2019). *Análisis de la interacción entre estructuras adyacentes de concreto armado de 5 y 12 pisos sin una adecuada junta de separación sísmica en la ciudad de Lima* (Tesis de Titulación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicada). <http://hdl.handle.net/10757/628036>.
- Cetin, H., Ozturk, B., y Aydin, E. (2020). Optimal viscous damper placement to prevent pounding of adjacent buildings. Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Structural Dynamic, EURO DYN, 2 3735-3743. Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com).
- Chase, J. G., Boyer, F., Rodgers, G. W., Labrosse, G., y MacRae, G. A. (2015). Linear and nonlinear seismic structural impact response spectral analyses. *Advances in Structural Engineering*, 18(4), 555-569. doi:10.1260/1369-4332.18.4.555.
- Cole, G y Dhakal, Rajesh. (2012). Building Pounding Damage Observed in the 2011 Christchurch earthquake Christchurch Earthquake. <http://hdl.handle.net/10092/8029>
- Elavenil, S., y Kamble, V. (2017). Linear and non-linear dynamic evaluation of concrete structures due to pounding effects. *Journal of Industrial Pollution Control*, 33(1), 1288-1293. Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com).
- Fiore, A., Marano, G., y Monaco, P. (2013). Earthquake-induced lateral-torsional pounding between two equal height multi-storey buildings under multiple bi-directional ground motions. *Advances in Structural Engineering*, 16(5), 845-866. doi:10.1260/1369-4332.16.5.845.
- González M. (2002). Aspectos éticos de la investigación cualitativa. *Revista Iberoamericana de Educación*, España. <https://www.redalyc.org/pdf/800/80002905.pdf>
- Hernández R., Fernández C. y Baptista M. (2014). Metodología de la Investigación, Sexta edición. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

- Moustafa, A., y Mahmoud, S. (2014). Damage assessment of adjacent buildings under earthquake loads. *Engineering Structures*, 61, 153-165. doi: 10.1016/j.engstruct.2014.01.004.
- Salinas R. (2019). Fundamentos del Análisis Estructural Dinámico de Estructuras. CISMID-FIC-UNI. <http://www.cismid.uni.edu.pe/fundamentos-del-analisis-dinamico-de-estructuras/>
- Balasubramaniam T. (2018). Seismic pounding effect on buildings and its control. Conferencia: 16° simposio sobre ingeniería sísmica, IIT RoorkeeEn: Roorkee, Uttarakhand. <https://www.researchgate.net/publication/336666532>
- Zhai, C., Jiang, S., Li, S., y Xie, L. (2015). Dimensional analysis of earthquake-induced pounding between adjacent inelastic MDOF buildings. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 14(2), 295-313. doi:10.1007/s11803-015-0024-3.