



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

ESTUDIO SOBRE LOS EFECTOS DEL GOLPETEO EN LA RESPUESTA
DINÁMICA DE DOS ESTRUCTURAS ADYACENTES DE CONCRETO ARMADO

Presentado por:

Bach. Kim Chang Cardenas

Para optar por el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Dr. Ing. Eliot Pezo Zegarra

CUSCO – PERÚ

2022



Revisión final-1

por Kim Chang Cardenas

Fecha de entrega: 22-dic-2022 09:56p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1986050516

Nombre del archivo: VERSI_N_FINAL-1.pdf (10.47M)

Total de palabras: 49947

Total de caracteres: 211727



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

¹ FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

ESTUDIO SOBRE LOS EFECTOS DEL GOLPETEO EN LA RESPUESTA
DINÁMICA DE DOS ESTRUCTURAS ADYACENTES DE CONCRETO ARMADO

Presentado por:

Bach. Kim Chang Cardenas

³ Para optar por el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Dr. Ing. Eliot Pezo Zegarra

CUSCO – PERÚ

2022



INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	upc.aws.openrepository.com Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
6	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
7	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
8	app.ingemmet.gob.pe Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%



DEDICATORIA

A mi familia y amigos, que son los partícipes
de mi motivación hacia mis objetivos tanto
personales, como profesionales.



AGRADECIMIENTOS

Ing. Eigner Román, quién incorporó en mí, mantener siempre un orden en todo.

Ing. Mitsy Gudiel, quién despertó en mí, el interés por el estudio de las estructuras.

Mg. Werner Calderón, quién me brindó herramientas para entender y enfrentar el mundo.

Mg. José Cabezas, quién siempre me respaldó con su incondicional apoyo durante mi periodo universitario.

Dr. Eliot Pezo, quién me hizo entender cómo funcionan realmente las cosas y quién afianzó mis conocimientos en la Especialidad de Estructuras.

Dr. Elvis Mamani, quién me encaminó, me orientó y me acompañó durante la elaboración de la presente investigación.



RESUMEN

El complejo estudio de los efectos del golpeteo o *pounding* contempla una relación de múltiples variables, presentando la apertura a diversos inesperados escenarios en los cuales, las estructuras de concreto armado podrían hacer frente. Los modelos de impacto estructural tienen como fin, cuantificar unas cargas de impacto. Si bien los primeros modelos analíticos toman en consideración mecanismos en base a rigideces y desplazamientos relativos, los modelos más actualizados contemplan hasta los efectos del amortiguamiento en sistemas viscoelásticos, asumiendo transferencias de energía cinética en energías de deformación.

Sin embargo, la dinámica estructural expone una serie de criterios a tomar en consideración cuando se analizan los impactos, como lo son, el análisis modal, las ecuaciones de movimiento en sistemas amortiguados, las respuestas ante excitaciones armónicas con amplitudes constantes y variables, las frecuencias naturales y los modos de vibración, entre otros.

En la presente investigación denominada “Estudio sobre los efectos del golpeteo en la respuesta dinámica de dos estructuras adyacentes de concreto armado”, se efectuó el análisis sísmico a dos estructuras tipo idealizadas que representan a dos edificaciones, la aplicación del modelo Hertz-Damp, el análisis de transferencia de energía en la colisión entre ambas estructuras, la cuantificación de las cargas y la obtención de los parámetros de respuesta en un análisis estructural post colisión.

El objetivo de la investigación es obtener respuestas estructurales mediante el análisis con espectro de aceleraciones y tiempo historia con funciones SIN, y amplitudes en base a $ZUCS/R \cdot G$, con la finalidad de inducir variaciones en el factor de aceleración sísmica y frecuencias de excitación, para estimar respuestas en proximidad a la resonancia estructural para cada edificación de concreto armado, para contemplar sollicitaciones críticas para cada estructura.

En términos generales, el *pounding* afecta en el comportamiento sísmico de las estructuras, modificando inesperadamente sus parámetros de respuesta estructural en un evento sísmico. En la Ciudad de Cusco, cuando se presente un sismo mayor a los 6.50Mw y existiendo una junta sísmica menor al reglamentado, el golpeteo o *pounding* afectará directamente en los elementos estructurales, amplificando los esfuerzos internos en las columnas y exponiéndolos a depender de los factores de seguridad para evitar la falla de cada elemento en contacto, frente a un posible colapso.



ABSTRACT

The complex study of the pounding effects contemplates a multivariable relationship, presenting the opening to various unexpected scenarios in which reinforced concrete structures could face. Structural impact models are intended to quantify impact loads. Although the first analytical models take into account the mechanisms based on relative stiffness and displacement, the most up-to-date models even contemplate the effects of damping in viscoelastic systems, assuming transfers of kinetic energy into deformation energies.

However, structural dynamics exposes a series of criteria to be taken into consideration when analysing impacts, such as modal analysis, equations of motion in damped systems, responses to harmonic excitations with constant and variable amplitudes, frequencies natural and modes of vibration, among others.

In the present investigation called "Study of the pounding effects on the dynamic response of two adjacent reinforced concrete structures", the seismic analysis was carried out on two idealized type structures, the application of the Hertz-Damp model, the energy transfer analysis in the collision between both structures, the quantification of the loads and the obtaining of the response parameters in a post-collision structural analysis.

The objective of the research is to obtain structural responses by means of the spectrum analysis of accelerations and time history with SIN functions, and amplitudes based on $ZUCS/R \cdot G$, in order to induce variations in the seismic acceleration factor and the excitation frequencies, to estimate responses in proximity to structural resonance for each reinforced concrete building, in order to contemplate critical requests for each structure.

In general terms, pounding affects the seismic behaviour of structures, modifying unexpectedly their structural response parameters in a seismic event. In the City of Cusco, when an earthquake greater than 6.50 Mw occurs and there is been a seismic joint smaller than the one regulated, the pounding will directly affect the structural elements, amplifying the internal forces in the columns and exposing them to depend on the security factors to avoid the failure of each element in contact against a possible collapse.



INTRODUCCIÓN

A partir de la reconstrucción de la Ciudad de Cusco después del Terremoto del año 1950, el desarrollo urbano en la ciudad se mantuvo en un crecimiento constante y eso implicó, en el primer momento, un aumento significativo de edificaciones para viviendas, centros comerciales, centros educativos, hospitales, entre otros. (Kubler, 1952)

Sin embargo, la variable de ordenamiento urbano, no se ve reflejado en la actualidad. El ordenamiento vial, los límites en los parámetros constructivos, la junta de separación sísmica entre edificaciones y adicionando las malas prácticas constructivas con relación a la autoconstrucción; generan un problema que influye en el desordenamiento territorial esquivando normativas urbanas, ambientales, etc. y, sobre todo, vulnerando las vidas humanas que priman principalmente por su protección dentro de la filosofía del diseño sismorresistente.

En tal contexto, la Universidad Andina del Cusco (UAC) viene investigando los materiales de construcción y su comportamiento en las diferentes estructuras para cada diferente uso, participando de manera activa en el estudio del concreto, la albañilería y la sismorresistencia.

La investigación está enfocada al estudio de la influencia de cargas de impacto producto del golpeteo, en el comportamiento dinámico de dos estructuras adyacentes de concreto armado colisionadas entre ellas, al no presentar un espacio dedicado para sus libres desplazamientos, siendo este normado por el Reglamento Nacional de Edificaciones y adicionalmente edificaciones visualmente identificadas y evidenciadas en la Ciudad de Cusco.



INDICE GENERAL

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
INTRODUCCIÓN	VI
INDICE DE TABLAS	IX
INDICE DE FIGURAS	X
LISTADO DE SIMBOLOS, VARIABLES Y ABREVIATURAS	XIII
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	10
2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS	10
2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES	17
2.2.1. JUNTA SÍSMICA	17
2.2.2. MECANISMO DE COLISIÓN	18
2.2.3. EVENTO DE COLISIÓN	19
2.2.4. MODELOS DE IMPACTO ESTRUCTURAL	23
2.2.5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL	30
2.2.6. RESPUESTA ESTRUCTURAL	31
2.2.7. DISEÑO ESTRUCTURAL	33
2.2.8. MODELAMIENTO EN ELEMENTOS FINITOS	35
2.3. HIPÓTESIS	36
2.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES	36
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	38
3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	40
3.4. INSTRUMENTOS	41
	vii



3.4.1.	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE EXCEL	41
3.4.2.	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE ETABS	44
3.4.3.	INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA	45
3.5.	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	46
3.5.1.	REGISTRO 01: PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO Y ACERO	46
3.5.2.	REGISTRO 02: METRADO DE CARGA	46
3.5.3.	REGISTRO 03: PARÁMETROS SÍSMICOS DEL SITIO	47
3.5.4.	REGISTRO 04: IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES	48
3.5.5.	REGISTRO 05: FRECUENCIAS DE EXCITACIÓN	50
3.5.6.	REGISTRO 06: JUNTAS SÍSMICAS	50
3.5.7.	REGISTRO 07: MODOS DE VIBRACIÓN, PERIODOS Y FRECUENCIAS NATURALES	50
3.5.8.	REGISTRO 08: DESPLAZAMIENTOS INELÁSTICOS	51
3.6.	PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS	52
3.6.1.	ESTRUCTURAS ADYACENTES DE CONCRETO ARMADO	52
3.6.2.	IDEALIZACIÓN DE LOS MODELOS ESTRUCTURALES	53
3.6.6.	ILUSTRACIÓN DE LA INTERACCIÓN ENTRE ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO	64
3.6.7.	RESPUESTA ESTRUCTURAL PRE COLISIÓN	68
3.6.8.	INTERACCIÓN ESTRUCTURAL	70
3.6.9.	ANÁLISIS GENERAL	73
3.6.10.	CRITERIOS DE INCLUSIÓN PARA LA ASIGNACIÓN DE CARGAS DE IMPACTO	80
3.6.11.	PROPUESTA DE VALIDACIÓN DE RESULTADOS DE CARGAS DE IMPACTO	84
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		87
4.1.	ESTRUCTURA DE ENTENDIMIENTO	87
4.2.	RESPUESTA SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS SOMETIDAS A IMPACTO	87
4.2.1.	PERIODOS Y FRECUENCIAS DE VIBRACIÓN	88
4.2.2.	DESPLAZAMIENTOS LATERALES RELATIVOS	89
4.2.3.	DESPLAZAMIENTOS INELÁSTICOS	91
4.2.4.	ACELERACIONES EN DIAFRAGMAS	93
4.2.5.	DIAGRAMA DE INTERACCIÓN	95
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN		97
5.1.	CONTRASTE DE RESULTADOS CON LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	97
5.2.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS ENCONTRADOS	99
5.3.	APORTES DE LA INVESTIGACIÓN	101
GLOSARIO		104
CONCLUSIONES		108
RECOMENDACIONES		110
REFERENCIAS		111
ANEXOS		114



INDICE DE TABLAS

Tabla 01: Coeficientes de restitución en variación del factor de aceleración sísmica	70
Tabla 02: Coeficientes de restitución en variación de frecuencias de excitación	70
Tabla 03: Parámetros del Modelo Hertz-Damp en variación del factor de aceleración sísmica	71
Tabla 04: Parámetros del Modelo Hertz-Damp en variación de frecuencias de excitación	72
Tabla 05: Masas variables en 1SDOF	73
Tabla 06: Periodos variables en 1SDOF	74
Tabla 07: Calidad del concreto variable en 1SDOF	74
Tabla 08: Cargas de impacto en la variación del factor de aceleración sísmica – colisión general	75
Tabla 09: Cargas de impacto en la variación de frecuencias de excitación – colisión general	76
Tabla 10: Cargas de impacto en la variación del factor de aceleración sísmica – colisión en plano principal	77
Tabla 11: Cargas de impacto en la variación de las frecuencias de excitación – colisión en plano principal	78
Tabla 12: Cargas de impacto vs junta de separación sísmica $-\Delta Z_2$ vs GAP	79
Tabla 13: Cargas de impacto vs junta de separación sísmica $-\Delta H_z$ vs GAP	79
Tabla 14: Asignación de cargas de impacto según variación del factor de aceleración sísmica	81
Tabla 15: Asignación de cargas de impacto según frecuencias de excitación	83
Tabla 16: Cargas de impacto en estudio de estructuras de múltiples pisos.	86
Tabla 17: Periodos y frecuencias en ΔZ_2	88
Tabla 18: Periodos y frecuencias en ΔH_z	88
Tabla 19: Derivas en $\Delta Z_2 = +100\%$	89
Tabla 20: Derivas en ΔH_z	90
Tabla 21: Desplazamientos en $\Delta Z_2 = +100\%$	91
Tabla 22: Desplazamientos en ΔH_z	92
Tabla 23: Aceleraciones en $\Delta Z_2 = +100\%$	93
Tabla 24: Aceleraciones en ΔH_z	94



INDICE DE FIGURAS

Figura 01: Colapso en Christchurch, Nueva Zelanda, 2010.....	1
Figura 02: Edificaciones con visibles grietas en insuficientes juntas sísmicas.	2
Figura 03: Colección de imágenes de edificaciones sin adecuadas juntas sísmicas en la Ciudad de Cusco.....	4
Figura 04: Edificaciones con visible espaciamiento para sus respectivos desplazamientos	4
Figura 05: Departamento de Cusco, provincia de Cusco, distrito de Cusco	8
Figura 06: Junta sísmica	17
Figura 07: Idealización de una colisión entre dos materiales estructurales.....	18
Figura 08: Ejemplo de deformación en el impacto y perforación de varias placas metálicas en DYNA3D	19
Figura 09: Combinación examinada de golpeteo entre estructuras	20
Figura 10: Modelo Hertz-Damp	24
Figura 11: Periodos de vibración en edificaciones	31
Figura 12: Variación de la distribución de deformaciones de acuerdo a la ubicación de la carga axial	33
Figura 13: Modos de falla en columnas a flexocompresión	34
Figura 14: Ejemplos de diferentes sistemas discretos	35
Figura 15: Ejemplos de diferentes sistemas continuos.....	35
Figura 16: Diseño de ingeniería.....	39
Figura 17: Ejemplo de estructuras adyacentes de concreto armado	52
Figura 18: Idealización de los modelos estructurales.....	53
Figura 19: Planta – estructura 01 (04 niveles).....	54
Figura 20: Planta – estructura 02 (15 niveles).....	55
Figura 21: Elevación general de estructura 01 y 02	56
Figura 22: Modelamiento en ETABS de ST01 Y ST02	57
Figura 23: Propiedades de los materiales en ETABS de STR01 – STR02	58
Figura 24: Secciones transversales en ETABS de STR01 – STR02.....	59
Figura 25: Espectros de respuesta sísmica en ETABS para STR01 – STR02.....	60
Figura 26: Casos de carga de espectros de respuesta sísmica en ETABS para SxD y SyD.....	60
Figura 27: Patrones de carga en ETABS	61
Figura 28: Función SIN en tiempo historia entre 0.25Hz – 8.00Hz	61
Figura 29: Variación del factor de aceleración sísmica en ETABS para STR01 y STR02.....	61
Figura 30: Variación la frecuencia de excitación en ETABS para STR01 y STR02	62
Figura 31: Modelamiento final pre colisión en ETABS para STR01 y STR02.....	62
Figura 32: Caso de colisión por alcance en sentido $S_x^{(+)} - S_x^{(-)}$	63
Figura 33: Caso de colisión frontal	63
Figura 34: Idealización del resorte de impacto	64
Figura 35: Desplazamiento relativo entre diafragma 1 y 2.....	64



Figura 36: Velocidad de colisión entre diafragmas	65
Figura 37: Idealización del Modelo Hertz-Damp	65
Figura 38: Casos de intercambio de energía cinética a energía de deformación	66
Figura 39: Periodo de colisión, velocidad de onda compresional y tipos de deformación	67
Figura 40: Derivas y desplazamientos pre colisión – estructura 01	68
Figura 41: Derivas y desplazamientos pre colisión – estructura 02	69
Figura 42: Representación de 1SDOF	73
Figura 43: Masas variables en 1SDOF	73
Figura 44: Periodos variables en 1SDOF	74
Figura 45: Calidad del concreto variable en 1SDOF	74
Figura 46: Cargas de impacto en colisión general con ΔZ_2 vs Story	75
Figura 47: Cargas de impacto en colisión general con ΔHz vs Story	76
Figura 48: Cargas de impacto en plano principal en colisión con ΔZ_2 vs GAP	77
Figura 49: Cargas de impacto en plano principal en colisión con ΔHz vs GAP	78
Figura 50: Proporcionalidad de carga de impacto con ΔZ_2 vs GAP	79
Figura 51: Proporcionalidad de carga de impacto con ΔHz vs GAP	79
Figura 52: Cargas de impacto en $+100\%Z_2$	81
Figura 53: Asignación de carga del $100\%Z_2$	81
Figura 54: Cargas de impacto en 0.50Hz y 2.00Hz	83
Figura 55: Asignación de carga entre 0.50Hz y 2.00Hz	83
Figura 56: Espectro de respuesta del golpeteo estructural en el Terremoto El Centro, para diferentes GAP	85
Figura 57: Estimación de carga en el espectro de respuesta para un T_1 y T_2 en GAP = 0.00cm	86
Figura 58: Diagrama de secuencia de avance	87
Figura 59: Derivas en ΔZ_2 – de izquierda a derecha, ST01 y ST02	89
Figura 60: Derivas en ΔHz – de izquierda a derecha, ST01 y ST02	90
Figura 61: Desplazamientos en ΔZ_2 – de izquierda a derecha, ST01 y ST02	91
Figura 62: Desplazamientos en ΔHz – de izquierda a derecha, ST01 y ST02	92
Figura 63: Aceleraciones en ΔZ_2 – de izquierda a derecha, ST01 y ST02	93
Figura 64: Aceleraciones en ΔHz – de izquierda a derecha, ST01 y ST02	94
Figura 65: Columna 01 - 40x40 en estructura 01	95
Figura 66: Diagrama de interacción columna 01 – de izquierda a derecha, pre y post colisión	95
Figura 67: Columna 02 - 60x60 en estructura 02	96
Figura 68: Diagrama de interacción columna 02 – de izquierda a derecha, pre y post colisión	96



INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 01: Desplazamiento máximo inelástico según ASCE	17
Ecuación 02: Modelo Hertz - Damp	24
Ecuación 03: Rigidez del resorte de impacto según Yozo. S. y Noriyoshi N.	25
Ecuación 04: Rigidez del resorte de impacto según Stavros A. Anagnostopoulos	25
Ecuación 05: Rigidez del resorte de impacto según Maisson y Kassai	25
Ecuación 06: Rigidez del resorte de impacto según Raja Rizwan H.	25
Ecuación 07: Rigidez del resorte de impacto según DesRoches y Fenves	26
Ecuación 08: Desplazamiento relativo según Muthukumar and Reginald DesRoches:	27
Ecuación 09: Desplazamiento relativo según Gregory C., Rajesh D., Athol C. y Des Bull	27
Ecuación 10: Coeficiente y constante de amortiguamiento no lineal	28
Ecuación 11: Constante de amortiguamiento no lineal mejorada según Dahai Zhao y Yong Liu	28
Ecuación 12: Velocidad de colisión en la interacción de dos masas	29
Ecuación 13: Velocidad final después de la interacción de dos masas	29



LISTADO DE SIMBOLOS, VARIABLES Y ABREVIATURAS

SÍMBOLOS

- δ = desplazamiento relativo
 ε = deformación unitaria
 ξ = constante de amortiguamiento
 ϕ = factor de reducción de resistencia en elementos estructurales
 ΔX = variación de la deformación en cada diafragma
 ΔZ_2 = variación del factor de aceleración sísmica
 ΔHz = variación de las frecuencias de excitación
 \ddot{X}_G = aceleración sísmica del suelo

VARIABLES

- C = velocidad de onda compresional
 C = factor de amplificación sísmica
 C_t = coeficiente de la NTP para estimar el T
 C_h = coeficiente de amortiguamiento
 $\dot{\delta}$ = velocidad de deformación, relativa o penetración
 δ_{MT} = desplazamiento máximo inelástico según ASCE
 e = coeficiente de restitución
 F_i = carga de impacto
 g_p = junta de separación sísmica
 h = altura medida desde el nivel de terreno natural hasta el nivel a evaluar
 h_i = parámetros del material (E y ν)
 I_a = irregularidad en altura
 I_b = irregularidad en planta
 K = rigidez del resorte de impacto
 K_d = rigidez axial del diafragma más rígido
 K_h = rigidez del resorte de impacto experimental
 K_k = rigidez del resorte de impacto en modelo elástico lineal
 K_{dn} = rigidez axial de los entrepisos en contacto
 K_{bn} = rigidez axial de las vigas de entrepiso
 k_h = rigidez del resorte de impacto en modelo Hertz – Damp



m_i	=	masa
R_i	=	volumen de esferas equivalentes
R_L	=	rigidez axial del entrepiso más rígido
R_o	=	coeficiente básico de reducción
s	=	segundos
S	=	factores de suelo
Sx	=	sismo en dirección X
Sy	=	sismo en dirección Y
t_i	=	periodos de colisión de cada diafragma
T_i	=	periodos estructurales de cada estructura
u_i	=	desplazamiento inelástico de cada edificación según Reginald DesRoches
v_i	=	velocidades iniciales en cada diafragma
V_c	=	velocidad de colisión entre estructuras

ABREVIATURAS

A	=	adimensional
ASCE	=	American Society of Civil Engineers
ASCE	=	American Society of Civil Engineers
ETABS	=	software de modelamiento en elementos finitos
GAP	=	junta de separación sísmica
Hz	=	frecuencia de excitación sísmica
kN	=	kilonewtons
MDOF	=	multiple degree of freedom (Múltiples grados de libertad)
MN	=	meganewtons
Mw	=	magnitud del momento
NTP	=	Norma Técnica Peruana
PGA	=	peak ground acceleration (Valor más alto de aceleración del suelo)
SDOF	=	single degree of freedom (1 grado de libertad)
ST01	=	estructura 01
ST02	=	estructura 02
U	=	factor de uso
Z	=	factor de zona
Z_2	=	factor de aceleración sísmica en zonificación 2

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. Descripción del problema

El problema del golpeteo o *pounding* entre estructuras adyacentes de concreto armado dentro del análisis de impacto estructural es un tema estudiado de manera reciente por la comunidad internacional y en específico, Polonia, China, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Inglaterra, Grecia, Suiza, Japón e India. Actualmente el *pounding* carece de una basta literatura técnica más aún en el idioma español y hoy en día, los softwares de análisis estructural están implementando un análisis en estructuras sometidas a impacto. Tal tópico tomó relevancia conforme se suscitaron sismos recientes desde 1983, de magnitud considerable como lo fueron: Loma Prieta en el siglo 19 en Estados Unidos (6.9Mw, PGA - 0.61), Cape Mendocino en 1992 en Estados Unidos (7.1Mw PGA - 0.66), Superstition Hills en 1987 en México y Estados Unidos (6.7 Mw PGA - 0.89). Eventos que resultaron con el colapso de varias estructuras de concreto armado, como se observa en la **Figura 01**, y la de pérdidas humanas. Posteriormente se realizaron modificaciones en las normativas de diseño sismorresistente y hoy en día, se incluyeron metodologías de reforzamiento, y separación sísmica para el libre desplazamiento de las estructuras de concreto armado.



Figura 01: Colapso en Christchurch, Nueva Zelanda, 2010

Fuente: John Wiley & Sons (2011)



En Perú, el tema no figura directamente en la Norma E.030 Diseño Sismorresistente, pero sí al efecto debido en el Artículo 33.- Separación entre Edificios, la cual estipula considerar “una distancia s mínima para evitar el contacto durante un movimiento sísmico” en conjunto con la ASCE 7-16 12.12.1.1. Structural Separation. Considerando la facilidad y la “reducción de costos” de la autoconstrucción, y las situaciones económicas en su momento implicaron la construcción de viviendas de concreto armado sin su consideración, y por el desconocimiento, se edificaron unas seguidas de otras sin la separación mínima estipulado en las normas. En la Ciudad de Cusco, localidad de la investigación, se pudo observar una gran cantidad de estructuras de concreto armado con evidentes problemas de espaciamiento entre ellas, como se visualiza en la **Figura 02**.



Figura 02: Edificaciones con visibles grietas en insuficientes juntas sísmicas.

Fotografías tomadas en **setiembre de 2021**

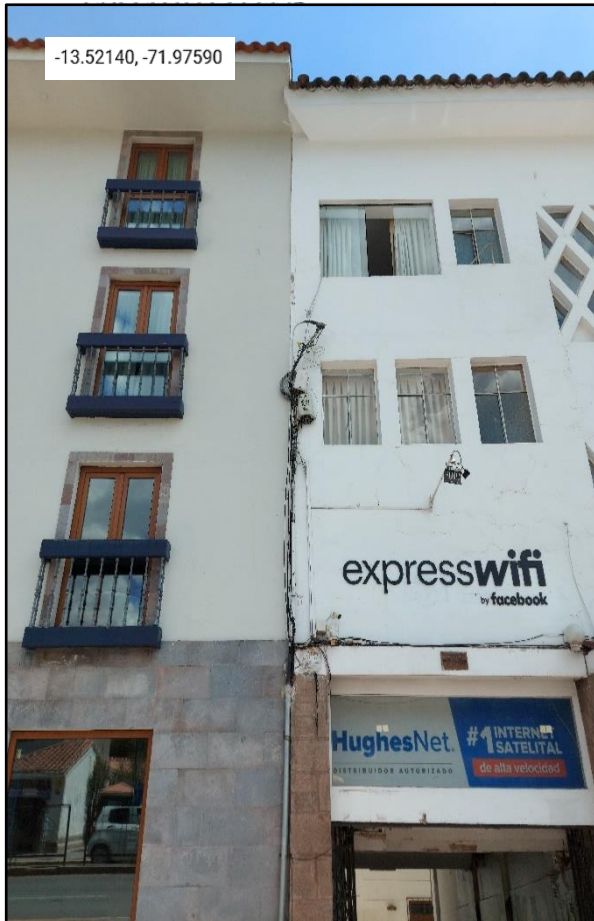




Figura 03: Colección de imágenes de edificaciones sin adecuadas juntas sísmicas en la Ciudad de Cusco

Fotografías tomadas en **setiembre de 2021**

Sin embargo, cabe recalcar que, dentro del estudio visual realizado para seguir la presente investigación, también se identificaron edificaciones con juntas sísmicas apropiadas para las condiciones físicas de ambas estructuras de concreto armado, como se ve a continuación:



Figura 04: Edificaciones con visible espaciamiento para sus respectivos desplazamientos

Fotografías tomadas en **setiembre de 2021**



1.1.2. Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general

Existe un posible escenario en el cual, estructuras adyacentes se vean limitadas a desplazarse libremente durante un evento sísmico, debido a una interacción mutua por una eventual colisión entre ellas, producto de una posible manifestación de vibraciones fuera de fase y la presencia de una insuficiente junta sísmica.

Pregunta:

¿Cuáles serán los efectos del golpeteo en la respuesta dinámica de dos estructuras adyacentes de concreto armado en la Ciudad de Cusco?

1.1.2.2. Formulación interrogativa de los problemas específicos

Problema específico 01:

La cantidad de masa y la rigidez presente en cada estructura adyacente, influenciará en las vibraciones inducidas por las sollicitaciones sísmicas.

Pregunta 01:

¿Cómo afectará la variación de la cantidad de masa, la rigidez y calidad de material, en la respuesta dinámica de las estructuras adyacentes de concreto armado?

Problema específico 02:

La superposición entre diafragmas rígidos producirá fuerzas inerciales en ambas estructuras adyacentes, generando cargas laterales inesperadas dentro del análisis sísmico.

Pregunta 02:

¿De qué dependerá la magnitud de la carga de impacto producto de la colisión entre las estructuras adyacentes de concreto armado?

Problema específico 03:

La magnitud de la carga de impacto producto de la colisión entre las estructuras adyacentes podría variar cuando se presenten diferentes juntas sísmicas y no hay certeza alguna que sea una relación proporcional o no.

Pregunta 03:



¿Qué tipo de proporción existirá entre la magnitud de la carga de impacto y las diferentes juntas sísmicas para un mismo espectro y una frecuencia de excitación entre las estructuras adyacentes de concreto armado?

Problema específico 04:

La posible reactivación de la falla de Tambomachay producto de un evento sísmico en la Ciudad de Cusco, podría incrementar las aceleraciones del suelo según la zonificación de la NTP e involucrar vibraciones amplificadas en las estructuras adyacentes.

Pregunta 04:

¿Cuánto aumentará la magnitud de la carga de impacto por el incremento de la aceleración del suelo?

Problema específico 05:

El choque por alcance y el frontal son los dos eventuales escenarios en la colisión entre estructuras adyacentes, suponiendo en ambos casos una transferencia de energía cinética en energía de deformación.

Pregunta 05:

¿Cuál será el tipo de choque más desfavorable en la colisión entre las estructuras adyacentes de concreto armado??

Problema específico 06:

En el caso de que la colisión se presente por alcance, los desplazamientos en la estructura receptora se amplificarán, suponiendo esfuerzos no previstos en los elementos estructurales según su diseño estructural.

Pregunta 06:

¿Serán respaldados los elementos en flexocompresión por los factores de reducción de resistencia al presentar esfuerzos no previstos?

1.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. Justificación técnica

La investigación comprende desarrollar el estudio del efecto del *pounding* o golpeteo en estructuras de concreto armado que no cumplen las disposiciones de separación sísmica reglamentarias.



Esto quiere decir que, la investigación comprende un estudio del efecto que produce la potencial colisión entre estructuras adyacentes de concreto armado en la Ciudad de Cusco, dado que está presente en la localidad, una falla que produciría una amplificación de aceleraciones en el suelo que implicarían en respuestas inesperadas de dichas estructuras y, sobre todo, poniendo en riesgo la vida de los habitantes de cada edificación.

Posteriormente podría hacerse una generalización del estudio a estructuras de concreto armado de similares características estructurales y la información podría servir para empezar a desarrollar una teoría de la modificación de la respuesta estructural en dichas estructuras con problemas de insuficiente espacio para sus libres desplazamientos.

1.2.2. Justificación social

Brindar el conocimiento, las consecuencias y repercusiones sobre los efectos de las posibles colisiones en las estructuras de concreto armado usadas para edificaciones, dando a conocer información técnicamente sustentada para la sociedad.

1.2.3. Justificación por viabilidad

La factibilidad de realizar el estudio es real, existen las condiciones dadas, la zonificación puede presentar una aceleración considerable y adicionando la probabilidad de un incremento producto de las fallas presentes en la localidad.

El peligro y la vulnerabilidad sísmica en Cusco están presentes, dado que, en la ciudad, existen edificaciones sin junta sísmica. La teoría de mecánica estructural en conceptos de impacto y colisiones entre materiales estructurales está estudiada y avalada por la comunidad científica.

1.2.4. Justificación por relevancia

Es conveniente debido a la utilidad que se le puede dar en base a los resultados de la investigación, pues este serviría como una fuente y sustento para realizar actividades de reforzamiento estructural informando al sector estudiado a conocer un latente y probable escenario en el cual todos nosotros nos veríamos directamente involucrados al presentarse este problema del *pounding* en eventos sísmicos.

La investigación aportará conocimientos nuevos, reforzará el uso de las ciencias como base de las ingenierías, análisis crítico, lógico y también servirá como fundamento para comprender los fenómenos que conllevan a la modificación de la respuesta estructural de los elementos estudiados, y su posible predicción.

1.3. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Limitación geográfica

El ámbito de la investigación toma lugar en la región de Cusco, provincia y distrito de Cusco.

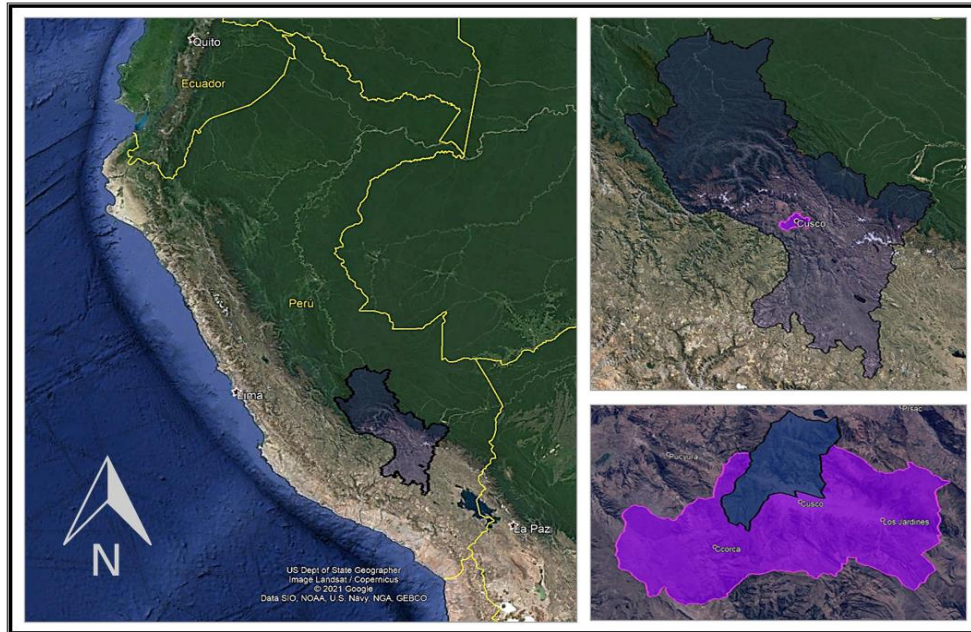


Figura 05: Departamento de Cusco, provincia de Cusco, distrito de Cusco

Fuente: Google Earth (2021)

1.3.2. Limitación teórica

Dadas las circunstancias en las que las colisiones se presentan, es de alguna manera, imposible predecir un comportamiento en función de varias variables, sin embargo, la investigación limita el estudio con ciertas consideraciones idealizadas que logran hacer entender el problema en general, abarcando teoría de mecánica estructural, usando software de modelamiento en elementos finitos y procedimientos de análisis matemático.

La condición del impacto es considerada como una carga estática, puntual, constante, horizontal y de forma lateral; en planos lineales y diafragmas colineales; siendo esta, cuantificada de manera analítica a través del modelo Hertz – Damp. La consideración “carga estática”, ejemplifica una condición idealizada de la aplicación de la carga, siendo esta, una propuesta metodológica de carácter preliminar y exploratoria para el estudio de impactos.

1.3.3. Limitación de estudio

El procedimiento está enfocado en 03 partes: el pre - procesamiento de información antes de la colisión con un análisis sísmico, el procesamiento de información del evento de colisión con



el análisis de interacción a través de modelos analíticos y, por último, el post - procesamiento con los resultados del fenómeno de golpeteo en el evento de colisión. Los esquemas mecánicos no corresponden a estructuras reales, siendo la estructuración, el pre dimensionamiento y la calidad de los materiales de 210 y 280 kg/cm² propuestas idealizadas dadas por el investigador ya que no inciden directamente en la investigación.

1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Estudiar la alteración de las respuestas sísmicas de las estructuras adyacentes, a causa de una carga de impacto o golpeteo, generada por una colisión entre ellas, ante solicitudes sísmicas considerando el tipo de choque, los parámetros físico - mecánicos y la ausencia de una junta sísmica adecuada entre ellas.

1.4.2. Objetivos específicos

Objetivo específico 01:

Determinar la perturbación de la respuesta sísmica en base al efecto de la variación de la masa, la rigidez y la calidad del material en un sistema de 1SDOF.

Objetivo específico 02:

Analizar la dependencia de la magnitud de la carga de impacto en los planos de análisis producto de la colisión entre las estructuras adyacentes, aplicando el modelo Hertz - Damp.

Objetivo específico 03:

Identificar la proporcionalidad entre las magnitudes de carga de impacto y las diferentes juntas sísmicas en la colisión, para un mismo espectro de respuesta y una frecuencia de excitación entre las estructuras adyacentes.

Objetivo específico 04:

Estimar la variación de la magnitud de la carga de impacto con respecto al incremento de la aceleración del suelo.

Objetivo específico 05:

Estudiar el efecto del choque entre ambas estructuras adyacentes e identificar el tipo más desfavorable.

Objetivo específico 06:

Evaluar si los factores de reducción de resistencia según la NTP E060, son suficientes para cubrir los nuevos esfuerzos producto de la colisión.



CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA TESIS

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional

Antecedente 01

(Castillo & Flores, 2019) realizaron el estudio sobre la interacción entre estructuras adyacentes sin una adecuada junta de separación sísmica, en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas en la ciudad de Lima en Perú.

Resumen: La gran prioridad del ingeniero civil es brindar seguridad al ciudadano en cualquiera de las edificaciones y/o construcciones donde la seguridad siempre debe estar ligada a obtener la infraestructura adecuada a un costo razonable. En nuestro país los proyectos de construcción, en particular las edificaciones que son nuestro caso en estudio, podrían durante un sismo, presentar diversos motivos de fallas, entre ellos, y en el que nos vamos a enfocar es en la falla producida por el contacto entre estructuras vecinas durante un movimiento sísmico. Consideramos que el rápido aumento de las edificaciones para uso residencial y la todavía existente informalidad en la construcción, han sido algunas de las razones que han generada que en el Perú existan edificaciones contiguas construidas sin una adecuada junta de separación sísmica, a pesar de que en el reglamento de construcción este indicado. Tomando en cuenta que el país se encuentra ubicado en una zona altamente sísmica, dichas edificaciones podrían ser severamente dañadas durante el evento de un movimiento sísmico. Es por tal motivo, que se busca conocer y analizar el efecto en las estructuras adyacentes de concreto armado de juntas de separación sísmicas inferiores a lo reglamentado, determinando la fuerza de impacto producida por el fenómeno de golpeo entre estructuras o *pounding*. Se considera que la información a obtenerse será de gran importancia, debido a la falta de investigaciones en idioma español en nuestro país sobre dicho fenómeno. Una vez determinada la fuerza de impacto entre las estructuras se esbozarán posibles soluciones que consideremos que podrían ayudar a mitigar el problema.

Conclusión: Comparando las imágenes donde se aprecia el efecto de golpeteo en edificaciones reales, con lo que se obtiene en el análisis del modelado, notamos una diferencia importante: 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 golpea al alto. Esto nos indica que si bien el análisis es útil ya que las fuerzas que se calculan (es decir, los 101.36tnf para el caso 01, 101.16tnf para el caso 02 y 100.96tn para el caso 03) son mayor de lo que pueden soportar los elementos, también nos indica que tiene su limitación ya que falla en un solo punto y no en varios. Esto se debe a ciertos factores como la forma real del impacto entre estructuras, la distribución real de masa, la torsión que se presente, los elementos no estructurales, entre otros; que modifican el comportamiento de los edificios y por lo tanto su respuesta ante el sismo, lo cual lleva a un impacto verdadero que es bastante más complejo de lo que se puede modelar.

Aporte: La investigación realizada permitió la apertura de un camino hacia el tema que inicialmente estaba idealizando como tesis, mientras información obtenía por parte de esta tesis de investigación, mayor satisfacción se tenía al ver que existían fuentes de información verídicas que abarcaban el problema del *pounding*. Una consideración inicial al momento de emplear los conocimientos de esta fuente, fue que utilizaron netamente el análisis lineal elástico del modelo lineal para obtener la fuerza de impacto, implementándolo en el software de elementos finitos ETABS, lograron cuantificar las cargas de impacto provenientes de la interacción entre edificaciones en la Ciudad de Lima, considerando los parámetros sísmicos del lugar y las demás consideraciones según la NTP E030.

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional

Antecedente 02

(Jankowski, 2006), realizó la investigación con respecto a los espectros de respuesta de las fuerzas producto del golpeteo, en la Universidad Tecnológica de Gdansk en la ciudad de Gdansk en Polonia.

Resumen: El golpeteo estructural inducido por sismos en edificaciones con inadecuadas separaciones pueden causar considerables daños o incluso incidir en el colapso total de una edificación. La evaluación de la magnitud del daño, así como el diseño de algunos métodos de mitigación de golpeteos, requiere el conocimiento de la máxima fuerza de impacto esperada durante el sismo. El objetivo de la presente investigación tiene como propósito, la idea de un espectro de respuesta para dos edificaciones adyacentes, el cual muestra el valor del pico de fuerza de impacto en función de los periodos naturales de vibración, el



amortiguamiento, la masa y la ductilidad, así como el desfase de tiempo de los registros de movimiento del suelo, que podrían tener una influencia sustancial en el pico de fuerza de impacto. Los resultados de este estudio indican que el espectro de respuesta de la fuerza de impacto puede servir como una herramienta muy buena para los diferentes objetivos de diseño.

Conclusión: Los ejemplos presentados de espectros de respuesta muestran que la selección adecuada de la configuración y los parámetros estructurales, como el tamaño del espacio intermedio, el período de vibración natural, el coeficiente de amortiguamiento, la masa, el tiempo de retraso de los registros de movimiento del suelo de entrada o el factor de ductilidad, tienen una influencia sustancial en el valor máximo de la fuerza de golpeo. Los resultados del estudio muestran que ajustar los parámetros dinámicos de ambas estructuras para que puedan vibrar en fase o proporcionar una separación suficiente entre ellas minimizará los efectos negativos de los golpes o incluso evitará el contacto. También se evitan colisiones cuando ambas estructuras tienen periodos naturales muy pequeños (sistemas de alta frecuencia), lo que las hace vibrar con deformaciones muy pequeñas. Los resultados indican que los espectros de respuesta de la fuerza de impacto brindan información valiosa sobre el valor máximo de la fuerza de golpeo esperado durante los movimientos del suelo y, por lo tanto, podrían servir como una herramienta muy útil para el diseño de estructuras poco espaciadas. Pueden usarse con éxito para evaluar la magnitud del daño inducido por golpes, que se puede esperar durante el terremoto de diseño. Los espectros también serán muy útiles durante el diseño de algún método de reducción de golpes, que requiere el conocimiento de la fuerza de impacto máxima.

Aporte: La presente investigación brinda una herramienta excepcional para cuantificar las cargas de impacto en las colisiones producto de los impactos entre estructuras próximas entre ellas, considerando solamente algunas propiedades físicas y mecánicas, y la separación de junta sísmica entre estructuras adyacentes, con todo ello es factible tener una estimación inicial de la carga de impacto entre las estructuras producto de un evento sísmico, y sobre todo, teniendo una fuente de comparación tangible para la obtención de datos en la presente investigación, razón por la cual es considerada como un antecedente importante dentro de la presente tesis de grado.



Antecedente 03

(Cole, Dhakal, Carr, & Bull, 2011), realizaron el estudio sobre los efectos de la distribución de las masas en el fenómeno del *pounding*, en la Universidad de Canterbury en la ciudad de Christchurch en Nueva Zelanda.

Resumen: Los efectos de la distribución de masas en diafragmas son investigados en el golpeteo estructural, las colisiones elásticas entre diafragma y diafragma son desarrollados considerando el momentum total a lo largo de la longitud de cada diafragma en tres críticos instantes durante la colisión. Las expresiones de fuerza y duración de colisión son generadas, proveyendo información adicional acerca del proceso de colisión. Las ecuaciones de las velocidades posteriores a la colisión en cada diafragma también son desarrolladas y se encontró una diferencia apreciable de las ecuaciones convencionales de “impact-momentum” bajo ciertas condiciones. Se encontró que el cambio en la velocidad posterior a la colisión es dependiente en la ratio de los periodos axiales de libre vibración de los dos diafragmas y la ratio de sus masas. Un modelo equivalente de masa confinada es propuesto y evaluado en pro de simplificar modelos de masa distribuida con un modelamiento numérico de edificios de dos pisos. Finalmente, es introducido un nuevo parámetro para representar la plastificación de la colisión inelástica entre dos masas distribuidas. La investigación hace énfasis en la influencia significativa del análisis del golpeteo estructural en el de la masa distribuida.

Conclusión: Se presenta una investigación matemática que examina las diferencias entre las colisiones de masa concentrada y de masa distribuida. Al hacer cuatro suposiciones básicas, se pueden relacionar las velocidades posteriores a la colisión de cada aproximación. Se encuentra que las diferencias en la velocidad posterior a la colisión dependen de la relación de masa y la relación de período entre los dos diafragmas. Se encuentra que las colisiones de masa distribuida siempre reducen el cambio en la velocidad resultante de la colisión, en comparación con los modelos de masa concentrada. Las diferencias en la velocidad posterior a la colisión resultantes de la elección de la distribución de masa se pueden caracterizar por el cambio en el coeficiente de influencia, entre las formulaciones de masa concentrada y masa distribuida. Un mayor cambio en el coeficiente de influencia, aumenta la importancia de la elección de la distribución masiva. La importancia de la distribución de masa en un escenario de golpeo específico puede evaluarse cualitativamente mediante el cálculo del cambio para cada diafragma, esta evaluación debe realizarse para ambos edificios.



Aporte: Importante fuente de información ya que con el conocimiento divulgado en esta investigación, pudimos incluir la distribución de las masas dentro del análisis de impacto entre diafragmas, criterio indispensable dado que el fenómeno de impacto, infiere directamente en la masas de cada estructura en colisión; dándonos como resultado un conocimiento importante para estimar las propiedades mecánicas de los cuerpos en desplazamiento y en su posterior colisión, siendo estas, variables intrínsecas para cuantificar las cargas de impacto entre estructuras colisionadas por el insuficiente espacio para vibrar libre y naturalmente.

Antecedente 04

(Yang & Xie, 2011), realizaron la comparación entre el modelo inicial de Hertz-Damp y el mejorado en una simulación de golpeteo, en el Instituto de Tecnología Harbin en la ciudad de Harbin en China.

Resumen: Para comparar el modelo inicial y mejorado de Hertz-Damp, las ecuaciones dinámicas del sistema de colisión se establecieron en base al modelo Hertz-Damp y al método de superposición de modo. El modelo Hertz-Damp puede explicar la influencia de la rigidez de contacto no lineal, así como la pérdida de energía durante el golpeteo estructural. El análisis de resultados muestra que el modelo inicial tiene el mismo resultado de simulación con el modelo inicial mejorado cuando el coeficiente de restitución o la rigidez de contacto es suficientemente grande, para el golpeteo estructural de hormigón típico, el modelo inicial está validado.

Conclusión: El golpeteo estructural se simuló con base en el método de superposición de modos utilizando los modelos de Hertz-Damp iniciales y mejorados. Para comparar los resultados, se puede ver que los resultados del modelo mejorado tienen una diferencia con los resultados del modelo inicial en los casos del coeficiente de restitución $e < 0.65$ o la rigidez del resorte de impacto $K_h < 2.0 \times 10^6 \text{ kN/m}^{3/2}$. Y si $e \geq 0.65$ y $K_h \geq 2.0 \times 10^6 \text{ kN/m}^{3/2}$, el modelo inicial puede proporcionar casi los mismos resultados con el modelo mejorado para golpes estructurales. De acuerdo con las investigaciones previas, para el típico golpeo estructural de concreto $e = 0.65$ y $K_h = 2.0 \times 10^6 \text{ kN/m}^{3/2}$, por lo que el modelo inicial está avalado en el golpeo estructural general.

Aporte: Esta investigación incide en que existe un valor o parámetro del Modelo Hertz-Damp, que inicialmente fue incluido en el análisis, pero posteriormente, gracias a las investigaciones



presentes hasta ese momento, se dedujo que podría ser mejorada la constante de amortiguamiento para en sí, estimar con más confiabilidad la carga de impacto y en sí, para estudiar el fenómeno de impacto estructural con mayor detalle y aproximación a lo más cercano a la realidad tal y como es, considerando varios factores que intervienen en la caída libre como concepto físico, el cual es empleado como variante para la estimación de dichas cargas de impacto.

Antecedente 05

(Mohammed, A.B.M., Raja, Syed, & M., 2011), realizaron un análisis no lineal con elementos finitos en estructuras sometidas a golpeteo inducido por sismos, en la Universidad de Malaya, Universidad King Saud y la Universidad Aligarh Muslim, en la ciudad de Kuala Lumpur en Malasia, Arabia Saudita e India.

Resumen: El golpeteo de la construcción vecina de estructuras debido a la excitación sísmica aumenta el daño de los componentes estructurales o incluso causa el colapso de las estructuras. Entre los posibles daños en edificios, el golpe inducido por terremotos se ha observado comúnmente en varios terremotos. Por lo tanto, es imperativo considerar el efecto de golpeteo para las estructuras. Este estudio tiene como objetivo comprender el comportamiento de respuesta de edificios adyacentes con alturas disímiles bajo el golpe inducido por el terremoto. También se investigan los efectos de las diferentes distancias de separación entre estructuras. Se ha llevado a cabo un análisis de elementos finitos no lineales en el dominio del tiempo para el golpeteo de estructuras vecinas que tienen alturas variables. Para mostrar la importancia de evitar golpes en estructuras se compararon los resultados obtenidos con modelos que no tenían fenómenos de golpeteo. Los resultados se obtuvieron en forma de cizallamiento de pisos, fuerza de golpeo, deriva de pisos, desplazamiento puntual y aceleración. La aceleración a nivel de golpeo aumenta significativamente durante la colisión del edificio. La fuerza de golpeo adicional generada puede causar daños severos a los miembros estructurales de las estructuras. El golpeteo produce corte en varios niveles, que son mayores que los obtenidos del caso de no golpeteo. El edificio con más altura sufre un daño mayor que el edificio más corto cuando se produce un golpeteo. El aumento de la distancia de la junta sísmica tiende a reducir el corte del nivel de manera consistente. Los resultados también muestran que el modelado convencional de edificios considerando solo



vigas y columnas subestima los efectos de golpeo. Se adoptarán modelos más realistas, como vigas, columnas y losas, para comprender con precisión el fenómeno del golpeteo.

Conclusión: La respuesta del edificio se ve muy afectada en la dirección del impacto (longitudinal), mientras que la respuesta en la dirección transversal es casi insignificante. Esto se debe a que la dirección de los golpes (longitudinal) está influenciada por la fuerza de impacto, pero solo hay una fuerza de fricción que actúa en la dirección transversal. El golpeteo reduce el desplazamiento lateral de las estructuras porque el movimiento de las estructuras se bloquea entre sí. La rigidez de todo el sistema aumenta. La aceleración a nivel de golpes de las estructuras aumenta considerablemente durante las colisiones. La fuerza de golpeo es directamente proporcional a la aceleración. Esta fuerza de golpeo adicional puede dañar gravemente los elementos estructurales de las estructuras. Durante el golpeteo, el edificio más liviano experimenta más aceleración y desplazamiento, está más vulnerable al daño que un edificio con mayor masa. La distancia de separación entre las estructuras vecinas reduce el daño por golpeteo ya que la fuerza de golpeo se reduce ampliamente para una mayor distancia de separación en comparación con un elemento de brecha dimensional baja.

Aporte: La presente investigación incide en que la respuesta estructural de cada sistema es modificada por la presencia de las cargas de impacto, aduciendo que los parámetros como los desplazamientos son reducidos y las rigideces globales son amplificadas junto con la aceleración en cada diafragma de cada estructura analizada. Esta investigación me proporciono una idea más consolidada con respecto a la influencia general del fenómeno de impacto en la colisión entre estructuras sin un adecuado espaciamiento de junta sísmica.

2.2. ASPECTOS TEÓRICOS PERTINENTES

2.2.1. Junta sísmica

Toda estructura está separada de las estructuras vecinas, desde el nivel del terreno natural, con una distancia mínima “s” para evitar el contacto durante un movimiento sísmico. Esta distancia no es menor que los 2/3 de la suma de los desplazamientos máximos de los edificios adyacentes ni menor que: $s = 0.006h \geq 0.03m$, donde h es la altura medida desde el nivel de terreno natural hasta el nivel considerado para evaluar “s”. El edificio se retira de los límites de propiedad adyacente a otros lotes edificables, o con edificaciones, distancias no menores que 2/3 del desplazamiento máximo calculado según el artículo 31, ni menores que “s/2” de la estructura vecina. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020). Todas las partes de la estructura deberá ser diseñada y construida para comportarse de manera integral resistiendo fuerzas sísmicas, a menos que estén separados estructuralmente por una distancia suficiente para evitar daño por contacto, así como se muestra en la **Figura 06**. Separaciones deberán permitir el máximo desplazamiento inelástico, el cual será determinado en zonas críticas con consideración de traslación y rotación incluyendo ampliaciones. Las estructuras adyacentes deberán ser separadas al menos, según la **Ecuación 01**, donde δ_{Mn} , son los desplazamientos máximos inelásticos en los bordes adyacentes. Separaciones pequeñas serán permitidas cuando lo justifique un análisis racional basado en respuesta inelástica a los movimientos del suelo de diseño. (American Society of Civil Engineers, 2017)

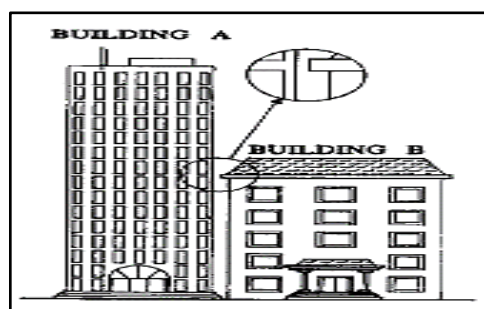


Figura 06: Junta sísmica

Fuente: Bruce F. Maison & Kazuhiko Kasai, (1992)

Ecuación 01: Desplazamiento máximo inelástico según ASCE

$$\delta_{MT} = \sqrt{(\delta_{M1})^2 + (\delta_{M2})^2} \quad (1)$$

Donde

$M1$: desplazamiento máximo inelástico de estructura 1
 $M2$: desplazamiento máximo inelástico de estructura 2

2.2.2. Mecanismo de colisión

La superposición horizontal de masas con diferentes características físicas y mecánicas, suponen un choque, una colisión o un impacto. El comportamiento durante y después de la colisión está en función de la respuesta estructural de ambas edificaciones y los parámetros físicos – mecánicos pre colisión de las estructuras interactuando, las cuales determinan cuanta energía se transfiere de un sistema a otro.

Posterior al evento de colisión, el comportamiento de ambas edificaciones es actualmente estudiado por la comunidad científica, sin embargo, la no linealidad se hace presente considerando la degradación de rigidez, el ángulo de fricción interna, la cohesión entre partículas del concreto armado, la variación en la cantidad de momentum de cada estructura en el plano analizado, el endurecimiento del acero de refuerzo por deformación en el rango inelástico, entre otros, que entran como variables intrínsecas del análisis no lineal y que para la predicción del comportamiento post – colisión, incurrirían en una evaluación más compleja, abarcando dichos tópicos. En el caso de los modelos de impacto que estudian los fenómenos de colisión entre estructuras de concreto armado, las masas, las velocidades pre, durante y post colisión, una rigidez de resorte de impacto, el coeficiente de amortiguamiento y con la junta de separación sísmica, cuantifican la carga de impacto para diferentes escenarios, como se observa en la **Figura 07**.

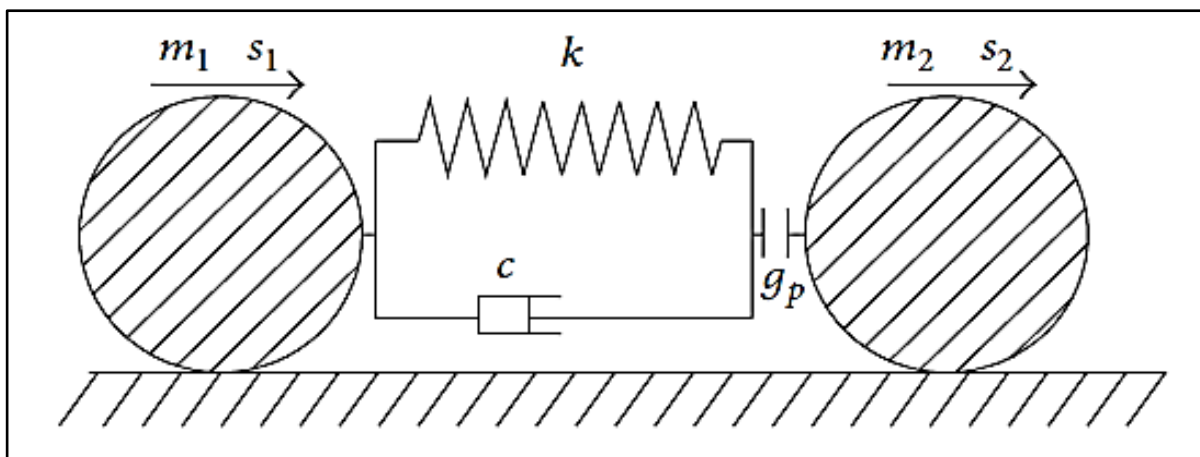


Figura 07: Idealización de una colisión entre dos materiales estructurales

Fuente: Dahai Zhao and Yong Liu, (2016)

Donde:

m_i : masas correspondientes a cada diafragma

s_i : vector velocidad de cada diafragma

k : rigidez del resorte de impacto

c : coeficiente de amortiguamiento

g_p : junta de separación sísmica

2.2.3. Evento de colisión

La energía no se crea ni se destruye, la transformación se lleva a cabo de diferentes formas, diferentes medios de disipación, de absorción y liberación. Cuando las ondas sísmicas se dispersan de forma radial y divergen del hipocentro, atraviesan estratos de suelo conformado por diferentes tipos de materiales y espesores variables, llegando a la superficie con una cantidad cuantificable de frecuencias y amplitudes. Dichas cuantificaciones se pueden catalogar como movimientos, en otras palabras, energía cinética. Cuando ésta logra arribar a la superficie e ingresar a las diferentes estructuras presentes en el lugar, la energía se transfiere y, por ende, encuentra una nueva forma de poder transformarse. (UNAM, 2022)

En la **Figura 08**, se expone el impacto de un proyectil de 1000kg a 50 m/s, proveniente de una explosión cercana hacia una estructura de concreto armado recubierta con placas de acero, donde se evidencia gráficamente el efecto producido en el recubrimiento en la parte *a)* y debajo en *b)*, la no penetración del proyectil en el elemento de concreto armado, en ambos casos se demuestra la deformación de los materiales producto de una colisión. Caso puntual para iniciar el entendimiento del fenómeno de impacto estructural.

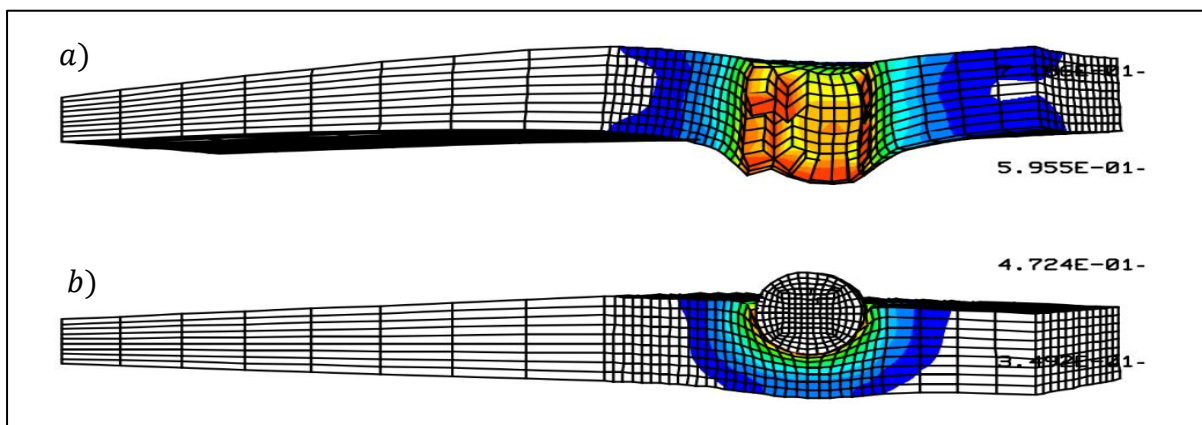


Figura 08: Ejemplo de deformación en el impacto y perforación de varias placas metálicas en DYNA3D

Fuente: José M. Goicolea, (2021)

En las estructuras de concreto armado, la energía cinética producto de un movimiento sísmico, del viento, cargas gravitacionales o sollicitaciones dinámicas en general, se pueden disipar en forma de desplazamientos, deformaciones, calor o sonido. Considerando que estas estructuras de concreto armado logran disipar la energía inducida, implementando en su diseño, capacidades de resistencia y de deformación; las estructuras de concreto armado deben lograr conservar sus condiciones de servicio y seguridad. Dichos diseños en base a los factores de reducción de resistencia y amplificación de cargas, conllevan a garantizar en cierto grado a las filosofías y principios del diseño sismorresistente, las cuales son, evitar pérdidas



de vidas humanas, asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños a las propiedades, sin embargo, la creciente informalidad en la construcción reduce las probabilidades de respaldar dichas filosofías y principios. Un adecuado análisis estructural provee información vital sobre el comportamiento de las estructuras y en detalle, los desplazamientos inelásticos que, en base a ello, se propone una correcta junta sísmica que garantice los libres desplazamientos entre estructuras de concreto armado.

El problema del *pounding* radica principalmente en la ausencia de una junta sísmica apropiada para las estructuras de concreto armado colindantes, produciendo en sí, fuerzas inerciales que se pueden cuantificar apropiadamente a través de análisis, en cargas laterales producto del impacto estructural. El evento de colisión entre estructuras de concreto armado se describe como una superposición inercial entre masas de diafragmas rígidos que se desplazan en el mismo sentido, en sentido contrario o en convergencia. Esta relación entre masas podemos denominarla como una interacción, una interacción que asume las propiedades físico – mecánicas de cada estructura y la información del evento sísmico. (Zhao & Liu, 2016)

La literatura científica ofrece una variedad de propuestas para cuantificar el impacto en cargas, todas se basan en la física de partículas, en el choque de materiales estructurales y de las variaciones de energía cinética por la cantidad de movimiento transferido durante la colisión.

En la **Figura 09** se muestra una combinación como ejemplos de los casos de impacto en que las estructuras de concreto armado, siendo estas colineales en los planos que hacen contacto con irregularidades estructurales en altura; pueden presentarse en la realidad.

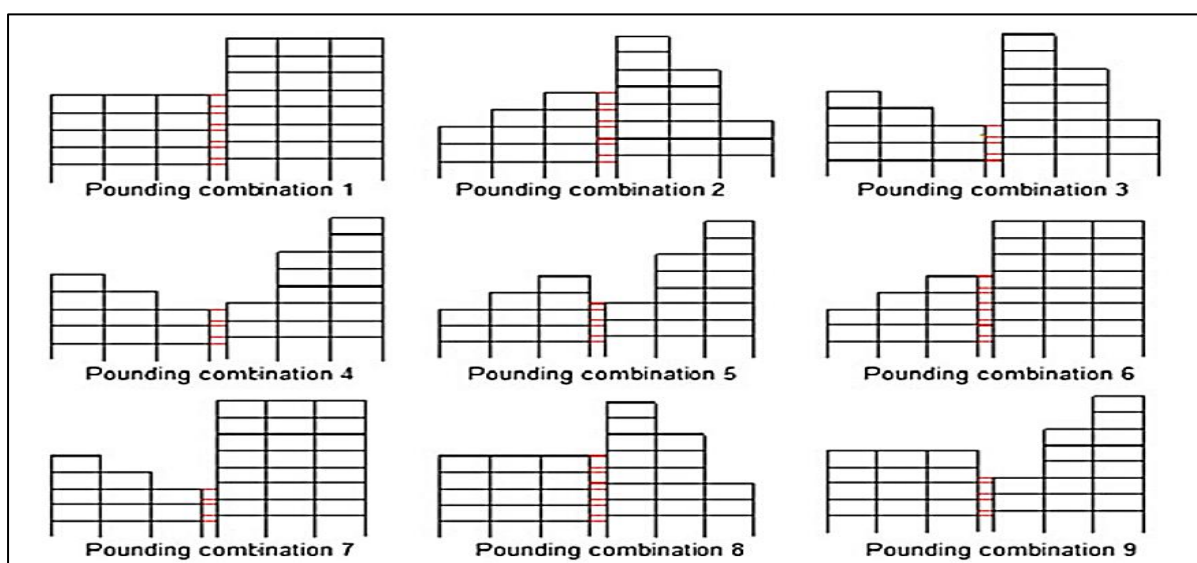


Figura 09: Combinación examinada de golpeteo entre estructuras

Fuente: Efraimiadou, Hatzigeorgiou y E, Beskos, (2013)



El evento se cataloga en tres fases o etapas:

Antes de la colisión: Cada estructura de concreto armado se desplaza de manera independiente según sus propiedades físicas – mecánicas, describiendo oscilaciones en diferentes sentidos, pero, al instante en que una estructura se aproxima a otra con inminente choque, estando esta, restringida de su desplazamiento normal; se produce el evento de colisión.

Durante la colisión: Se produce el impacto estructural que se traduce en una superposición de los diafragmas rígidos colindantes o no, que al principio mantienen cada uno su respectiva velocidad, pero ésta cambia conforme se suscite el impacto. En dicho instante, se crea una onda compresional desde la génesis de la colisión, que se desplaza con magnitud y vector dirección en función del tipo de material y de la cantidad de masa de cada diafragma, recorriendo toda la longitud perpendicular al plano de choque y retornando así, conformando dos tramos de recorrido total, el periodo de tiempo en recorrer dichos tramos son fundamentales para obtener velocidades relativas a las iniciales, que en sí, menciona indirectamente las variaciones en transferencia de energía cinética a través de los momentum producidos y del coeficiente de restitución presente en el impacto estructural. El choque en sí, lo que produce son tres fenómenos cuantificables, el primero, la amplificación de un desplazamiento de la estructura que choca o la colisionada, el segundo, una cierta cantidad de deformación del punto tangencial del impacto, y tercero, una variación de las velocidades de las estructuras en colisión, por parte de la estructura colisionada adicionando aceleración encima del diafragma de contacto y solo reduciendo o aumentando aceleración en la otra estructura.

Después de la colisión: Se produce una modificación parcial de la respuesta estructural de ambas edificaciones debido a la incorporación de una carga cuantificada de impacto en forma lateral. Dicha carga produce una variación en los desplazamientos de la estructura o un daño puntual en el diseño del elemento que hace contacto, varía el desplazamiento relativo del diafragma colisionado o simplemente la carga producto del impacto, es absorbida por los factores de reducción de resistencia de los elementos estructurales.



2.2.3.1. Definiciones formales

“Para estructuras adyacentes separadas por un pequeño espacio, existe el peligro de que choquen entre sí en el caso de una excitación sísmica suficientemente grande. Este fenómeno de golpes mutuos (que debe distinguirse del impacto de las estructuras que se derrumban) a menudo ha causado grandes daños estructurales y no estructurales en terremotos anteriores. Esto ocurre con frecuencia cuando las unidades individuales de una estructura con diferentes características dinámicas se erigen con juntas sísmicas que tienen un ancho insuficiente.” (Wolf & Skrikerud, 1980)

“El golpeteo estructural se refiere a las colisiones laterales entre edificios durante los terremotos. Ocurre cuando los edificios adyacentes vibran fuera de fase y la separación en reposo es insuficiente para acomodar sus movimientos relativos.” (Maison & Kasai, 1992)

“Los fenómenos de impacto sobre las estructuras constituyen solicitaciones dinámicas de interés especial, ya que, aunque por lo general su probabilidad es más baja que otros tipos de acciones, su efecto es potencialmente catastrófico. Son solicitaciones dinámicas de corta duración e intensidad elevada que, por su naturaleza, pueden producir daños importantes sobre las mismas, o alteraciones notables en su estabilidad o movimiento.” (Goicolea, 2000)

“El problema de los golpes entre estructuras o miembros estructurales insuficientemente separados durante los terremotos ha atraído la atención de los investigadores desde hace varios años. Este interés se debe al hecho de que se puede encontrar una cantidad creciente de evidencia en informes posteriores a grandes terremotos que indican que los golpes estructurales pueden causar daños considerables o incluso provocar el colapso de una estructura.” (Jankowski, 2006)

“El golpeteo de edificios describe la colisión de dos o más edificios adyacentes causada por cargas externas. Las fuerzas sísmicas son la principal causa de colisión de edificios y pueden provocar daños estructurales graves o el colapso total del edificio.” (Cole, Dhakal, Carr, & Bull, 2011)

“El golpeo estructural es un problema no lineal complicado. Para estudiar efectivamente la respuesta de las estructuras adyacentes bajo el impacto, el modelo de análisis de impacto razonable es muy importante.” (Zhao & Liu, 2016)

Existen múltiples investigaciones que evalúan los efectos de la distribución de masas, la interacción de diafragmas en colisión, la transformación de la energía cinética en potencial, la transferencia de cantidad de movimiento o momentum de una estructura a otra, variables que



se desarrollan a través de teoría de impacto formuladas por diferentes autores que consideran modelos elásticos lineales, pérdida de energía con amortiguamientos viscosos lineales, modelos no lineales, amortiguamientos y modelos viscoelásticos no lineales.

2.2.4. Modelos de impacto estructural

Los modelos de impacto estructural ofrecen cuantificaciones de carga de impacto con similitudes y diferencias, siendo todos estos activados cuando se cumple la siguiente afirmación: $\delta > 0$

2.2.4.1. Modelo elástico lineal

El modelo elástico lineal ofrece una gama de valores de carga de impacto que consideran una relación lineal – proporcional entre rigidez y desplazamiento.

El mecanismo implementado para su desarrollo se basa en un resorte con rigidez K_k y un desplazamiento relativo δ . Su proporcionalidad es lineal y brinda un aumento constante de valor a medida que el δ aumenta hasta que ya no exista contacto.

Es un análisis de colisión simple con expresión matemática del impacto. (Zhao & Liu, 2016)

2.2.4.2. Modelo Kelvin

El modelo adiciona a la ecuación elástica-lineal, un valor de amortiguamiento lineal c_h , y una velocidad de deformación $\dot{\delta}$, con el fin de representar una pérdida de energía producto del impacto que están en función de los coeficientes de restitución para cada estructura. La data es lineal y proporcional de igual manera dado que las masas y los coeficientes son mayores a cero, tan solo adicionando una cantidad de carga en superposición a la carga elástica – lineal. Es uno de los más usados y la variable del amortiguamiento viscoso lineal del modelo representa la pérdida de energía. (Zhao & Liu, 2016)

2.2.4.3. Modelo Hertz

El uso de este modelo actualiza el elástico – lineal con una variación del parámetro δ , de modo que los desplazamientos relativos van a un exponente $3/2$, el cual amplifica la carga de impacto, haciéndolo más aproximado según el modelo.

Dentro del proceso de impacto, el incremento de la fuerza del impacto simulado por este método es no lineal. (Zhao & Liu, 2016)

2.2.4.4. Modelo Hertz-Damp

Se utiliza dado que implica dentro de su análisis, una consideración de pérdida de energía por una colisión plástica, adiciona una no-linealidad en el amortiguamiento que va en dependencia de la variación de velocidades con respecto al tiempo. La constante de amortiguamiento se afecta directamente por su coeficiente, y el mismo varía constantemente por el cambio de velocidades en pre colisión, durante y post colisión, en cada plano y de cada estructura. El modelo de Hertz con amortiguación no lineal (Hertz Damp model), es un modelo que desarrolla una carga de impacto provocada por la colisión entre dos materiales estructurales tal y como se ejemplifica en la **Figura 10** y se analiza en la **Ecuación 02**.

Adicionalmente comprendiendo un valor de amortiguamiento, que ya se utiliza en otras áreas como la robótica y los sistemas multicuerpo, se introdujo por primera vez de Muthukumar y DesRoches, a la simulación de golpes en la ingeniería estructural. (Zhao & Liu, 2016).

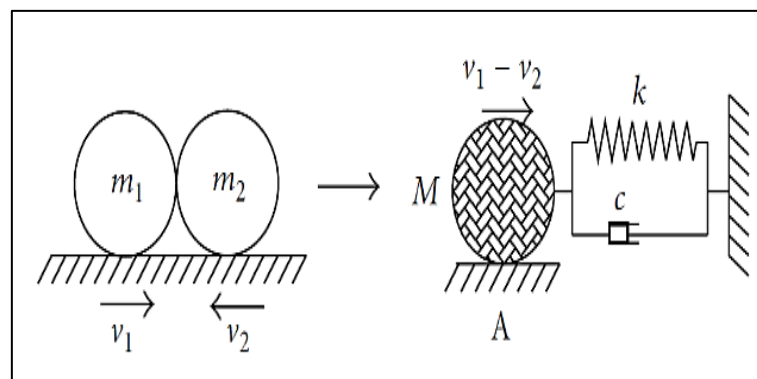


Figura 10: Modelo Hertz-Damp

Fuente: Dahai Zhao and Yong Liu (2016)

La fuerza de contacto durante el impacto del modelo de Hertz se puede expresar como:

Ecuación 02: Modelo Hertz - Damp

$$F_C = \begin{cases} k_h \delta^{3/2} + c_h \dot{\delta} & \delta > 0 \\ 0 & \delta < 0 \end{cases} \quad (02)$$

Donde:

k_h : rigidez del resorte de impacto
 δ : desplazamiento relativo o penetración
 c_h : coeficiente de amortiguamiento no lineal
 $\dot{\delta}$: velocidad relativa o de penetración



2.2.4.4.1. Rigidez del resorte de impacto

Se utiliza el promedio de las 05 formulaciones de las rigideces axiales de diafragmas en colisión; en función del módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson y de un volumen de masa equivalente en esferas en base a un radio y Pi, como se explica entre la **Ecuación 03 y 07**

Akira Wada, Yozo Shinozaki y Noriyoshi Nakamura: La rigidez del resorte de colisión corresponde al del piso y vigas de cada nivel.

Ecuación 03: Rigidez del resorte de impacto según Yozo. S. y Noriyoshi N.

$$K_h = K_{dn} + K_{bn} \quad (03)$$

Donde:

K_n : rigidez del resorte de impacto
 K_{dn} : rigidez axial de los entrepisos en contacto
 K_{bn} : rigidez axial de las vigas de entrepiso

Stavros A. Anagnostopoulos: La rigidez es 20 veces la rigidez lateral del sistema más rígido.

Ecuación 04: Rigidez del resorte de impacto según Stavros A. Anagnostopoulos

$$K_h = 20 \times R_L (\max) \quad (04)$$

Donde:

k_n : rigidez del resorte de impacto
 R_L : rigidez axial del entrepiso más rígido

Maisson y Kassai: Considerar el valor de la rigidez axial del diafragma de contacto.

Ecuación 05: Rigidez del resorte de impacto según Maisson y Kassai

$$K_h = K_d \quad (05)$$

Donde:

k_n : rigidez del resorte de impacto
 k_d : rigidez axial del diafragma más rígido

Raja Rizwan Hussain: La rigidez es igual a 100 veces la rigidez del diafragma de contacto.

Ecuación 06: Rigidez del resorte de impacto según Raja Rizwan H.

$$K_h = 100K_d \quad (06)$$

Donde:

k_n : rigidez del resorte de impacto
 k_d : rigidez axial del diafragma más rígido



DesRoches y Fenves: La rigidez está en función de dos cuerpos esféricos que se obtienen a través de los parámetros del material y dos (02) volúmenes de esferas equivalentes.

Ecuación 07: Rigidez del resorte de impacto según DesRoches y Fenves

$$k_h = \frac{4}{3\pi (h_1 + h_2)} * \left[\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (07)$$

Donde:

h_i : parametros del material (E, ν)
 R_i : volumen de esferas equivalentes

2.2.4.4.2. Desplazamiento relativo o de penetración

Este concepto de desplazamiento relativo y deformación relativa tiene dos estudios, dos autores, y dos ecuaciones. El desplazamiento relativo corresponde a un residuo en magnitud del espacio, entre el desplazamiento u_1 , de la estructura 01 y u_2 , de la estructura 02 y del GAP que relaciona al espaciamiento de junta sísmica entre estructuras. Si esto es $\delta < 0$, no existe contacto, mientras que siendo lo contrario, $\delta > 0$, se induce el impacto y se inicia el registro de un desplazamiento relativo. Si tomamos en cuenta que esta relación de desplazamiento relativo es proporcional, mientras más desplazamiento inelástico entre estructuras exista, mayor será el desplazamiento relativo. Sin embargo, es cuestionable considerar que no siempre la realidad es así. Según la tercera Ley de Newton, a toda acción le corresponde una reacción de igual o similar condición, magnitud y dirección, en este registro debe existir una no linealidad por el hecho que existe un amortiguamiento de los sistemas estructurales, una fuerza de oposición producto de la propia inercia, una variación entre ambos desplazamientos y aceleraciones en dependencia del tiempo, entre otros. Condiciones que la hacen no seguir dicha linealidad, es ahí donde este parámetro es afectado por la segunda expresión: $C_h v_c$.

La deformación relativa es otro concepto que toma en consideración una variación entre las velocidades iniciales de cada diafragma vi_n y v_c , como parámetro aproximado de una velocidad en la transición en el instante pre colisión y durante la colisión, la cual se propaga y al cabo del periodo de colisión, esta se transforma en la velocidad de colisión para que luego de completar un ciclo, se transforme en la velocidad post colisión. Este valor de la variación de las velocidades, se afecta por un diferencial de desplazamiento junto con la velocidad de la onda compresional, la cual, si deducimos la expresión matemática, esta ecuación de deformación corresponde a una variable que, con una velocidad en un tiempo, genera un valor con magnitud de espacio, correspondiente a una deformación del mismo material.



Susendar Muthukumar and Reginald Desroches:

Se considera un δ como la diferencia entre el desplazamiento del primer edificio más el del segundo y todo menos el GAP o espaciamiento entre estructural. Para que haya impacto, se tiene que cumplir esta condición de la **Ecuación 08**.

Ecuación 08: Desplazamiento relativo según Muthukumar and Reginald DesRoches:

$$u_1 + u_2 - g_p > 0 \quad (08)$$

Donde:

u_i : desplazamiento inelástico de cada edificación

g_p : espaciamiento de junta sísmica

Gregory Cole, Rajesh Dhakal, Athol Carr and Des Bull:

Durante el impacto existe una deformación que, a través de las Leyes de Newton podemos concluir que la cantidad de la velocidad de un cuerpo disminuye tras la colisión, iniciando con la producción de una onda de compresión por el impacto que va y regresa a la masa que origina el periodo de colisión, resultando en una deformación como se analiza en la **Ecuación 09**; que está en función de la transferencia de momentum y la velocidad de onda.

Z

$$\text{deformation} = \text{rel. velocity} \times \text{time} = (v_1 - v_c) \times \frac{\Delta X}{C} \quad (09)$$

Donde:

v_i : velocidades iniciales de cada diafragma

v_c : velocidad de colisión entre estructuras

ΔX : variación de la deformación en cada diafragma

C : velocidad de onda compresional = $\sqrt{E_i/\rho_i}$

2.2.4.4.3. Coeficiente de amortiguamiento no lineal

Esta variable en el estudio de impactos tiene múltiples autores, los cuales implementan el amortiguamiento como una fuerza complementaria a la de la colisión, relacionando dicha fuerza producto del amortiguamiento con el coeficiente de amortiguamiento y una velocidad, que, en este caso, corresponde a la de colisión. Durante el uso de estos modelos de impacto, esta variable estuvo siendo mejorada debido a que en muchas investigaciones se desarrollaron nuevas formas de conceptualizar el impacto, por ejemplo, Dahai Zhao y Yong Liu, mejoraron la variable de la constante de amortiguamiento simplemente relacionando los



coeficientes de restitución en una expresión matemática, dando como resultados, aproximaciones más verídicas del comportamiento del mismo amortiguamiento para todo tipo de casos, tal y como se analiza en la **Ecuación 10**.

El modelo Hertz-Damp considera como la ecuación del movimiento, una fuerza de amortiguamiento, $f_D = c * \dot{u}$, (CHOPRA, 1980)

Ecuación 9: Coeficiente y constante de amortiguamiento no lineal

$$\begin{aligned} \text{Coeficiente de amortiguamiento: } C_h &= \xi \delta^{3/2} \\ \text{Constante de amortiguamiento: } \xi &= \frac{3K_h(1-e^2)}{4\delta} \end{aligned} \quad (10)$$

Donde:

δ : desplazamiento relativo
 K_h : rigidez del resorte de impacto
 e : coeficiente de restitución
 $\dot{\delta}$: velocidad relativa

Sin embargo, a través del artículo de investigación: “Improved Damping Constant of Hertz-Damp Model for *pounding* between Structures”, se hace una mejora de la constante de amortiguamiento “ ξ ” (**Ecuación 11**), debido a un estudio que demostró que hay un defecto en la hipótesis en el proceso de la derivación de la fórmula de la aproximación de la velocidad, todos los cambios son incluidos dentro de la fase de aproximación que influye en la interacción entre la fase de aproximación y el periodo de restitución de la colisión.

Ecuación 10: Constante de amortiguamiento no lineal mejorada según Dahai Zhao y Yong Liu

$$\text{Constante de amortiguamiento mejorada: } \xi = \frac{\sqrt{5}(1-e^2)}{10e^2} \quad (11)$$

Donde:

e : coeficiente de restitución

2.2.4.4. Velocidad relativa o de penetración

Las velocidades, inertes a las propiedades mecánicas de los materiales, en los eventos de colisión pueden definirse en tres fases, las velocidades en pre-colisión que corresponden a las velocidades como parámetros de respuesta sin la afectación o perturbación por una sollicitación externa; las velocidades de colisión, que según lo explicado en la deformación relativa, se produce en el instante del impacto, propagándose en el medio continuo y extinguiéndose mientras se completan los ciclos de movimiento, y las velocidades post colisión, con referencia a las variaciones que sufren las velocidades iniciales relacionando los



periodos de colisión y las masas que son constantes en estos casos. Los coeficientes de restitución obtenidos posterior a la cuantificación de las diferentes velocidades pre, colisión y post (**Ecuación 12 y 13**), permiten inducir cuanta energía se transfiere producto de la colisión entre las estructuras, es ahí donde encontramos la siguiente discusión con respecto a la cantidad de energía cinética que tiene un diafragma durante el máximo desplazamiento, siendo este menor debido a que la mayoría de energía del diafragma se utiliza para deformar el cuerpo, en este caso, de desplazar la estructura, y la energía residual va en la velocidad como energía cinética, reduciéndose hasta el cero cuando se produce la deformación máxima o el desplazamiento máximo en cada diafragma. Cuando se analiza la interacción entre masas, se hace referencia a la transferencia de energía de una estructura a otra, producto de un fenómeno sísmico, todo el proceso de liberación de energía a través de movimiento, en estructuras sin espaciamiento reglamentario, concluye en una transferencia de momentum de una estructura a otra conceptualizado en masas de diafragmas rígidos. Cada masa o diafragma mantiene una velocidad v_1 y v_2 sin reducción cuando los desplazamientos no se interponen, por ende, se realiza el análisis para tres fases, pre colisión, colisión y post colisión.

Ecuación 11: Velocidad de colisión en la interacción de dos masas

$$\text{Velocidad de colisión: } v_c = \frac{m_1 v_1 + m_2 \frac{T_1}{T_2} v_2}{m_1 + m_2 \frac{T_1}{T_2}} \quad (12)$$

Donde:

m_i : masas de cada diafragma en colisión
 v_i : velocidades iniciales de cada diafragma
 T_i : periodos de colisión de cada diafragma

Ecuación 12: Velocidad final después de la interacción de dos masas

$$\text{Velocidad final: } v'_n = v_n + 2 \frac{1}{1 + \frac{m_n \times T_{n+1}}{m_{n+1} \times T_n}} \times (v_{n+1} - v_n) \quad (13)$$

Donde:

v_i : velocidades iniciales de cada diafragma
 m_i : masas de cada diafragma en colisión
 T_i : periodos de colisión de cada diafragma



2.2.4.5. Modelo viscoelástico no lineal

Dicho modelo considera dos fases en colisión, uno por acercamiento y el otro como uno por restitución, considerando que la fractura, la fricción y la deformación plástica ocurren de mayor manera en el acercamiento y toda la energía es liberada en mayor parte en dicha fase.

Define la colisión entre un periodo de acercamiento y otro periodo de restitución. (Zhao & Liu, 2016)

2.2.5. Análisis estructural

Los métodos de análisis han evolucionado paulatinamente según los avances de la ingeniería sísmo resistente, es por ello, que para evaluar la respuesta sísmica del edificio fue posible aplicar procedimientos de análisis no lineal pseudo-estáticos y dinámicos, los cuales permiten localizar debilidades del diseño que el análisis elástico no puede capturar y asimismo conocer de manera más cercana la respuesta de una edificación ante un evento sísmico. (Vielma, Barrios, & Alfaro, 2013)

2.2.5.1. Análisis estático equivalente

Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación. Puede analizarse mediante este procedimiento todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica 1. En las otras zonas sísmicas puede emplearse este procedimiento para las estructuras clasificadas como regulares, según artículo 1, de no más de 30m de alturas, y para las estructuras de muros portantes de concreto y albañilería armada o confinada de no más de 15m de altura, aun cuando sean irregulares. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

2.2.5.2. Análisis dinámico modal espectral

Cualquier estructura puede ser diseñada usando los resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

2.2.5.3. Análisis tiempo-historia

El análisis dinámico tiempo – historia puede emplearse como un procedimiento complementario a los especificados en los artículos 28 y 29. En este tipo de análisis se utiliza un modelo matemático de la estructura que considere directamente el comportamiento histerético de los elementos determinándose la respuesta frente a un conjunto de aceleraciones del terreno mediante integración directa de las ecuaciones de equilibrio. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

2.2.6. Respuesta estructural

La determinación absoluta del comportamiento de una estructura en un evento sísmico, ante sollicitaciones dinámicas, sucesos extremos probabilísticos, condiciones de entorno, entre otros, es de alguna manera, impredecible. La respuesta estructural de cualquier estructura en general, se define por sus propiedades físicas – mecánicas, las condiciones locales de su ubicación, las condiciones reales, uso de la misma, etc., de ese modo, se logra conocer un probable comportamiento frente a una diversidad de sollicitaciones a las que hace frente en diferentes circunstancias, y, por ende, plantear, formular y presentar un diseño estructural que logre abarcar todo lo que conlleva el mismo es de vital importancia. Cabe recalcar que las aproximaciones en resultados para cada parámetro de respuesta estructural pueden ser obtenida a través de los métodos analíticos desarrollados durante mucho tiempo, mientras que las nuevas metodologías de trabajo, usando software de modelamiento en elementos finitos conllevan a resultados más coherentes y próximos a la realidad, brindando reducciones de recursos para obtener dichos parámetros de respuesta estructural.

2.2.6.1. Periodos y frecuencias

El periodo fundamental de vibrar de un edificio es un parámetro clave para el diseño sísmico de una estructura; en el caso de construcciones existentes es un valor que puede ayudar a determinar las condiciones actuales de seguridad estructural. Como se muestra a

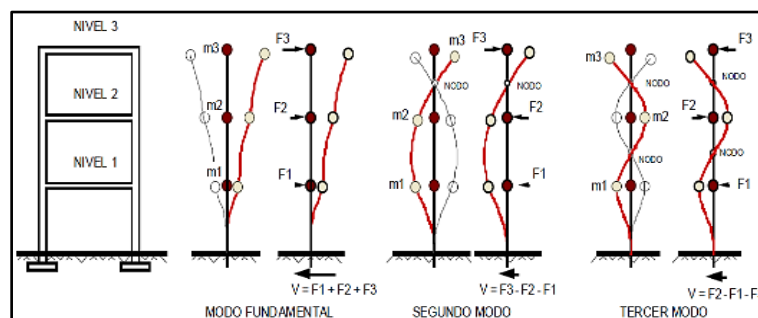


Figura 11: Periodos de vibración en edificaciones

Fuente: Ing. Mauricio Domínguez Caicedo (2014)

continuación, en la **Figura 11**, se ejemplifica el modo fundamental de vibración junto con dos modos más, demostrando la variación del movimiento característico de los edificios en función de sus propiedades físico – mecánicas,

El valor del período fundamental de vibración de las edificaciones varía con tipo de suelo en que se apoya. Un edificio cimentado sobre roca o suelo duro se comportará como un voladizo perfectamente empotrado en la base y tendrá su menor período de vibración, pero cuando el



suelo es blando se deforma con las vibraciones, el conjunto suelo-edificio se torna más flexible y el período se incrementa al comportarse como parcialmente empotrado debido a la deformación del empotramiento. Generalmente los códigos de construcción proporcionan fórmulas empíricas para estimar el periodo fundamental, dichas expresiones se basan en registros de edificios durante el movimiento del suelo obtenidos en modelos elaborados con elementos finitos. (Barghi & Azadbakht, 2011).

2.2.6.2. Aceleraciones en el sistema estructural

Las estructuras al recepcionar las sollicitaciones, generan por sí mismas, aceleraciones que depende directamente de la excitación de origen y de los parámetros físicos - mecánicos de la misma. Generando primeramente una acumulación de energía que se convierte en energía cinética, moviendo cada diafragma presente en cada estructura y ejerciendo aceleraciones para cada masa presente. Esta cantidad de energía cinética se transforma en energía de deformación y desplaza cada masa en función de la sollicitación y de las propiedades físicas – mecánicas de cada estructura.

2.2.6.3. Derivas y desplazamientos

Los desplazamientos inelásticos se calculan multiplicando por 0.75R o 0.85R, los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas.

Las derivas son el máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado según el Artículo 31, no excede la fracción de la altura de entrepiso (distorsión) que se indica en la NTP E030 Tabla N°11. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020)

2.2.6.4. Cantidad de movimiento y transferencia de energía

Es una magnitud física derivada de tipo vectorial que describe el movimiento de un cuerpo en cualquier teoría mecánica. En mecánica clásica, la cantidad de movimiento se define como el producto de la masa del cuerpo y su velocidad en un instante determinado. Históricamente, el concepto se remonta a Galileo Galilei. En su obra Discursos y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias, usa el término italiano impeto, mientras que Isaac Newton en Principia Mathematica usa el término latino motus¹ (movimiento) y vis motrix (fuerza motriz). (Virbhadra, 1991)

2.2.6.5. Coeficiente de restitución

Grado de conservación de energía, $0 \leq e < 1$, valor 0 implica un choque totalmente inelástico, mientras que cuando el valor es 1, implica un choque elástico.

2.2.7. Diseño estructural

2.2.7.1. Elementos en flexo compresión

Las columnas se deben diseñar para resistir las fuerzas axiales que provienen de las cargas amplificadas de todos los pisos, y el momento máximo debido a las cargas amplificadas, considerando la carga viva actuando en solo uno de los tramos adyacentes del piso o techo bajo consideración. También debe considerarse la condición de carga que produzca la máxima relación (excentricidad) entre el momento y carga axial.

Una columna sometida a flexo-compresión puede considerarse como el resultado de la acción de una carga axial excéntrica o como el resultado de la acción de una carga axial y un momento flector. Ambas condiciones de carga son equivalentes y serán empleadas indistintamente para el análisis de columnas cortas sometidas a flexo-compresión. Para el análisis, la excentricidad de la carga axial se tomará respecto al centro plástico. Este punto se caracteriza porque tiene la propiedad de que una carga aplicada sobre él produce deformaciones uniformes en toda la sección. En secciones simétricas el centro plástico coincide con el centroide de la sección bruta y en secciones asimétricas coincide con el centroide de la sección transformada. Conforme la carga axial se aleja del centro plástico, la distribución de deformaciones se modifica, como se muestra en la **Figura 12**.

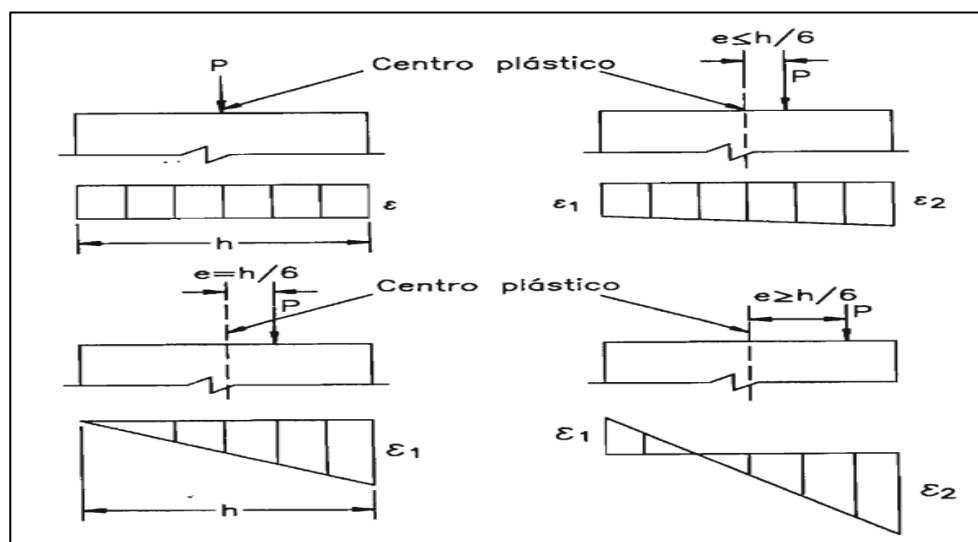


Figura 12: Variación de la distribución de deformaciones de acuerdo a la ubicación de la carga axial

Fuente: Teodoro Harmsen (2017)

Una columna con una distribución determinada de refuerzo y dimensiones definidas tiene infinitas combinaciones de carga axial y momento flector que ocasionan su falla o lo que es equivalente, las cargas axiales que ocasionan el colapso varían dependiendo de la

excentricidad con que son aplicadas. Al igual que las secciones sometidas a flexión pura, las columnas pueden presentar falla por compresión, por tensión, o falla balanceada. Sin embargo, a diferencia de ellas, una columna puede presentar cualquiera de los tres tipos de falla dependiendo de la excentricidad de la carga axial que actúa sobre ella. Si ésta es pequeña, la falla será por compresión; si la excentricidad es mayor, la falla será por tensión. Además, cada sección tiene una excentricidad única, denominada excentricidad balanceada que ocasiona la falla balanceada de la sección. (Harmsen, 2017)

2.2.7.2. Factores de reducción de resistencia

Es un factor de la resistencia que toma en cuenta la probabilidad de que la resistencia de un elemento sea menor que la supuesta debido a las variaciones en las resistencias de los materiales y sus dimensiones, las imprecisiones de las ecuaciones de diseño, el grado de ductilidad y la confiabilidad requerida del elemento cargado, y la importancia del elemento dentro de la estructura.

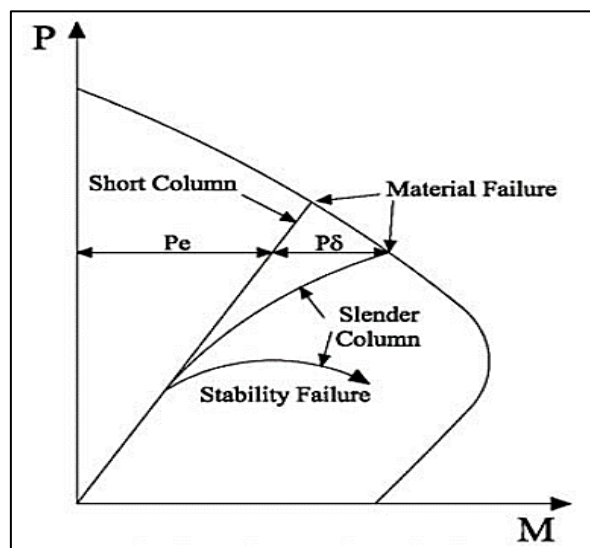


Figura 13: Modos de falla en columnas a flexocompresión

Fuente: Everard e Issa (2019)

2.2.7.3. Resistencia nominal

Las resistencias de diseño (ϕR_n) proporcionada por un elemento, sus conexiones con otros elementos, así como sus secciones transversales, en términos de flexión, carga axial, cortante y torsión, deben tomarse como la resistencia nominal calculada de acuerdo con los requisitos y suposiciones de esta Norma, multiplicada por los factores ϕ de reducción de resistencia.

2.2.8. Modelamiento en elementos finitos

2.2.8.1. Sistemas discretos

Son aquellas que están formadas por un ensamblaje de elementos diferenciados unos de otros y unidos en una serie de puntos concretos, de tal manera que el sistema total tiene forma de malla o retícula. La característica fundamental de las estructuras discretas es que su deformación puede definirse de manera exacta mediante un número finito de parámetros, como por ejemplo las deformaciones de los puntos de unión de unos elementos y otros. De esta manera el equilibrio de toda la estructura puede representarse mediante las ecuaciones de equilibrio en las direcciones de dichas deformaciones. (Celigüeta-Lizarza, 2011)

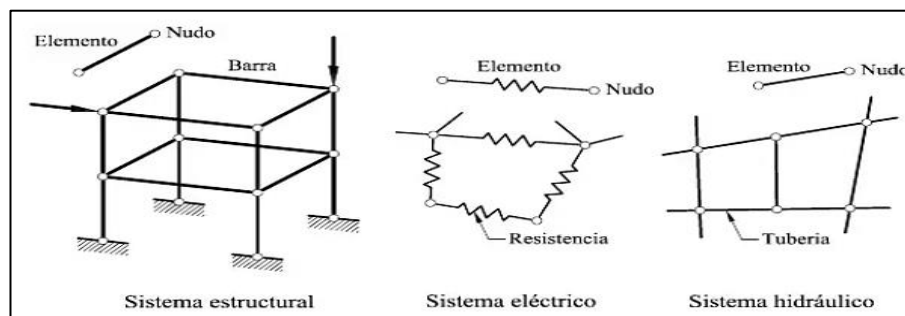


Figura 14: Ejemplos de diferentes sistemas discretos

Fuente: UNAM (2020)

2.2.8.2. Sistemas continuos

En los sistemas continuos no es posible separar, a priori, el sistema en un número finito de elementos estructurales discretos. Si se toma una parte cualquiera del sistema, el número de puntos de unión entre dicha parte y el resto de la estructura es infinito, y es por lo tanto imposible utilizar el mismo método que en los sistemas discretos, pues los puntos de unión entre los distintos elementos, que allí aparecían de manera natural, no existen ahora. (Celigüeta-Lizarza, 2011)

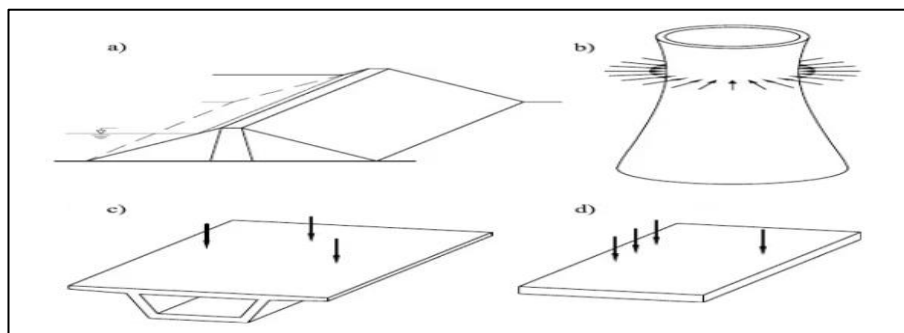


Figura 15: Ejemplos de diferentes sistemas continuos

Fuente: UNAM (2020)



2.3. HIPÓTESIS

2.3.1. Hipótesis general

El golpeteo entre las estructuras adyacentes causa una respuesta sísmica inesperada, amplificando principalmente los desplazamientos, las aceleraciones de los diafragmas y los esfuerzos internos de los elementos estructurales.

2.3.2. Subhipótesis

Hipótesis específica 01:

Los sistemas estructurales de 1SDOF con mayor masa y menor rigidez tendrán mayores desplazamientos, mientras que, lo contrario inducirá a menores desplazamientos y mayores esfuerzos internos.

Hipótesis específica 02:

La magnitud de la carga de impacto variará en función de la cantidad de masa, del periodo de vibración, de la calidad de los materiales, de la junta sísmica y de las frecuencias de excitación para una misma amplitud.

Hipótesis específica 03:

No existe una proporcionalidad lineal entre la magnitud de la carga de impacto y las diferentes juntas sísmicas, para un mismo espectro de respuesta y una frecuencia de excitación entre ellas.

Hipótesis específica 04:

El incremento de la aceleración del suelo implicará en una carga de impacto mayor.

Hipótesis específica 05:

La colisión se presenta de manera frontal y por alcance; siendo el segundo, el más desfavorable debido a que amplifica los desplazamientos de la estructura receptora.

Hipótesis específica 06:

El factor de reducción de resistencia en el diseño de los elementos en flexocompresión, no cobertura los nuevos esfuerzos actuantes cuando se presente la colisión en el escenario de choque por alcance.

2.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES

2.4.1. Variables independientes

X1: Propiedades físico mecánicas, X2: Frecuencias de excitación, X3: Factor de aceleración sísmica, X4: Junta de separación sísmica y X5: Carga de impacto.

2.4.2. Variables dependientes

Y1: Parámetros de respuesta estructural y Y2: Interacción estructural.

2.4.3. Cuadro de operacionalización de variables

ESTUDIO SOBRE LOS EFECTOS DEL GOLPETEO EN LA RESPUESTA DINÁMICA DE DOS ESTRUCTURAS ADYACENTES DE CONCRETO ARMADO						
VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTOS	UNIDAD	
VARIABLES DEPENDIENTES						
Parámetros de respuesta estructural	Manifestación de un sistema estructural que, al estar sometido a sollicitaciones externas, genera una reacción en el mismo a través de sus indicadores y en función de sus propiedades físico - mecánicas.	Periodos de vibración	Relación altura y sistema estructural	Fichas de evaluación	s	
		Frecuencias naturales	Periodo de vibración		ciclos/s	
		Desplazamiento lateral	Desplazamiento máximo en el último nivel		cm	
		Esfuerzos actuantes	Fuerzas internas		tonf, tonf-cm	
Interacción estructural	Relación o influencia entre dos estructuras que al implicar sus propiedades físico - mecánicas, manifiestan efectos en el comportamiento de cada sistema	Resorte de impacto	Rigidez de los diafragmas en contacto	Memorias de cálculo	tonf/cm	
		Desplazamiento relativo	Máximos desplazamientos y resta de GAP	Software de elementos finitos	cm	
		Velocidades relativas	Velocidades iniciales, finales y de colisión		cm/s	
		Coefficiente de amortiguamiento no lineal	Coefficiente de restitución		tonf-s/cm	
VARIABLES INDEPENDIENTES						
Propiedades físicas	Cualidades medibles de cada sistema estructural y características de las estructuras que se manifiestan ante sollicitaciones externas.	Masa	Uso de la estructura	Fichas de recolección de datos	tonf-s ² /cm	
		Geometría	Dimensiones de longitud, anchura y altura.		-	
Propiedades mecánicas		Material	Modulo de elasticidad			-
			Modulo de Poisson			-
Frecuencias de excitación	Frecuencia de movimiento que tiene el suelo producto de la dispersión de las ondas sísmicas.	Frecuencias de excitación	Listado de frecuencias	Fichas de evaluación	ciclos/s	
Factor de aceleración sísmica	Aceleración en base a los parámetros de la zona sísmica	Aceleración sísmica	Parámetros de la zona sísmica	Memorias de cálculo	Factor Z	
Junta sísmica	Es el espacio dedicado para los libres desplazamientos que las estructuras tienen para vibrar.	Distancia "s"	NTP E030	Registros sísmicos		
		Separación "d"	ASCE 7-16	NTP E060	cm	
Carga de impacto	Fuerza producto de la colisión entre dos sistemas estructurales.	Fuerza	Modelos de impacto estructural	ASCE 7-16	cm	
					tonf	



CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Enfoque de la investigación

Enfoque Cuantitativo: Secuencial y probatorio, cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que no va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas; se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones. (Fernandez, Baptista, & Hernández, 2014)

3.1.2. Nivel de la investigación

Descriptivo: Se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. (Fernandez, Baptista, & Hernández, 2014)

3.1.3. Método de la investigación

Hipotético – Deductivo: Es un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos. (Bernal, 2010)

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Diseño metodológico

Cuasiexperimental: Los diseños cuasiexperimentales también manipulan deliberadamente, al menos, una variable independiente para observar su efecto sobre una o más variables dependientes, sólo que difiere de los experimentos puros en el grado de seguridad que pueda tenerse sobre la equivalencia inicial de los grupos. En los diseños cuasiexperimentales, los sujetos no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan, sino que dichos grupos ya están conformados antes del experimento: son grupos intactos. (Fernandez, Baptista, & Hernández, 2014)



3.2.2. Diseño de ingeniería

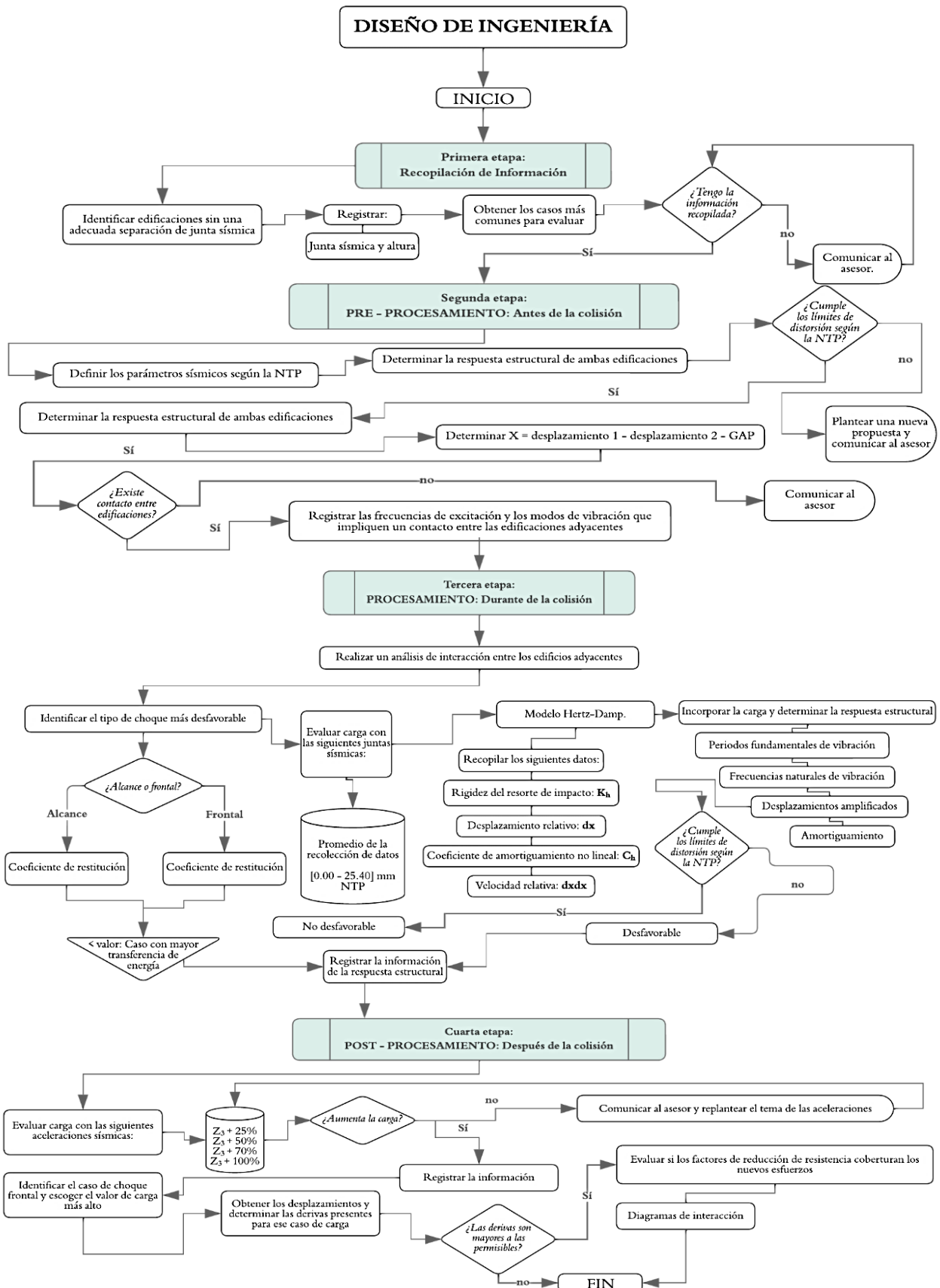


Figura 16: Diseño de ingeniería



3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población

3.3.1.1. Descripción de la población

La población para el presente estudio son las estructuras adyacentes de concreto armado con similar configuración estructural en planta y altura de entrepiso, que no presentan una junta de separación sísmica según lo reglamentado en la NTE E030.

3.3.1.2. Cuantificación de la población

3.3.2. Muestra

3.3.2.1. Descripción de la muestra

Se contemplan dos estructuras adyacentes de concreto armado tipo de 4 y 15 pisos, que no presentan una junta de separación sísmica según lo reglamentado en la NTE E030, en el Distrito de Cusco en la Urb. Magisterial.

Dadas las limitaciones con respecto al acceso a la información de los expedientes técnicos de las dos estructuras existentes en la Urb. Magisterial, se idealizó un sistema estructural similar a las configuraciones estructurales correspondientes, considerando las disposiciones y limitaciones de la NTP E030.

3.3.2.2. Cuantificación de la muestra

3.3.2.3. Método de muestro

La muestra de la presente tesis es no probabilística.

Muestra no probabilística: Se seleccionan individuos o casos “típicos” sin intentar que sean estadísticamente representativos de una población determinada. (Fernandez, Baptista, & Hernández, 2014)

3.3.2.4. Criterios de evaluación de la muestra

3.3.3. Criterios de inclusión

Las estructuras de concreto armado adyacentes son modeladas cumpliendo las disposiciones de pre-dimensionamiento de la NTP E060 y las consideraciones de diseño sismorresistente según la NTP E030. Las propiedades mecánicas del concreto son asumidas considerando el cumplimiento de los requerimientos de rigidez según la NTP E060. Los parámetros sísmicos son determinados según la ubicación del lugar.



3.4. INSTRUMENTOS

3.4.1. Instrumentos de recolección de datos de Excel

FORMATO 01: Propiedades mecánicas del concreto y acero

FORMATO 01: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

I / IRDEXCEL - F001 / PMCA

-

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	-	-	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	-	-	-

PROPIEDAD		CONCRETO	ACERO DE REFUERZO	UND
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	: [fc]	-	-	kg/cm ²
ESFUERZO DE FLUENCIA	: [fy]	-	-	kg/cm ²
ESFUERZO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN	: [fu]	-	-	kg/cm ²
COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO	: [T]	-	-	1/C°
PESO ESPECÍFICO	: [g]	-	-	ton/m ³
MODULO DE ELASTICIDAD	: [E]	-	-	kg/cm ²
MODULO DE CORTE	: [G]	-	-	kg/cm ²
MODULO DE POISSON	: [v]	-	-	A

FORMATO 02: Metrado de cargas

FORMATO 02: METRADO DE CARGAS

I / IRDEXCEL - F002 / MC

-

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	NTP E020	-	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	-	-	-

CARGAS ACTUANTES - ST01	CANTIDAD	VOLUMEN (m ³)	P.U. (ton/m ³)	CARGA (tonf)
DEAD				
LOSA ALIGERADA	-	-	-	-
COLUMNA	-	-	-	-
VIGA	-	-	-	-
PLACA	-	-	-	-
CM: PISO TERMINADO				
LOSETA	-	-	-	-
	CANTIDAD	ÁREA (m²)	P.U. (ton/m³)	
CM: TABIQUERÍA				
SOGA XX - YY	-	-	-	-
CABEZA XX - YY	-	-	-	-
LIVE				
TIENDAS	-	-	-	-
GIMNASIO	-	-	-	-
CV: TECHO	-	-	-	-
TECHO	-	-	-	-
			CARGA TOTAL (ton-f)	-

CARGAS ACTUANTES - ST02	CANTIDAD	VOLUMEN (m ³)	P.U. (ton/m ³)	CARGA (tonf)
DEAD				
LOSA ALIGERADA	-	-	-	-
COLUMNA	-	-	-	-
VIGA	-	-	-	-
PLACA	-	-	-	-
CM: PISO TERMINADO				
MADERA	-	-	-	-
LOSETA	-	-	-	-
	CANTIDAD	ÁREA (m²)	P.U. (ton/m³)	
CM: TABIQUERÍA				
SOGA XX - YY	-	-	-	-
CABEZA XX - YY	-	-	-	-
LIVE				
VIVIENDA	-	-	-	-
TIENDAS	-	-	-	-
DEPÓSITO	-	-	-	-
GARAGE	-	-	-	-
CV: TECHO	-	-	-	-
TECHO	-	-	-	-
			CARGA TOTAL (ton-f)	-



FORMATO 03: Parámetros sísmicos del sitio y espectros de respuesta

FORMATO 03: PARÁMETROS SÍSMICOS DEL SITIO

I / IRDEXCEL - F003 / PSS

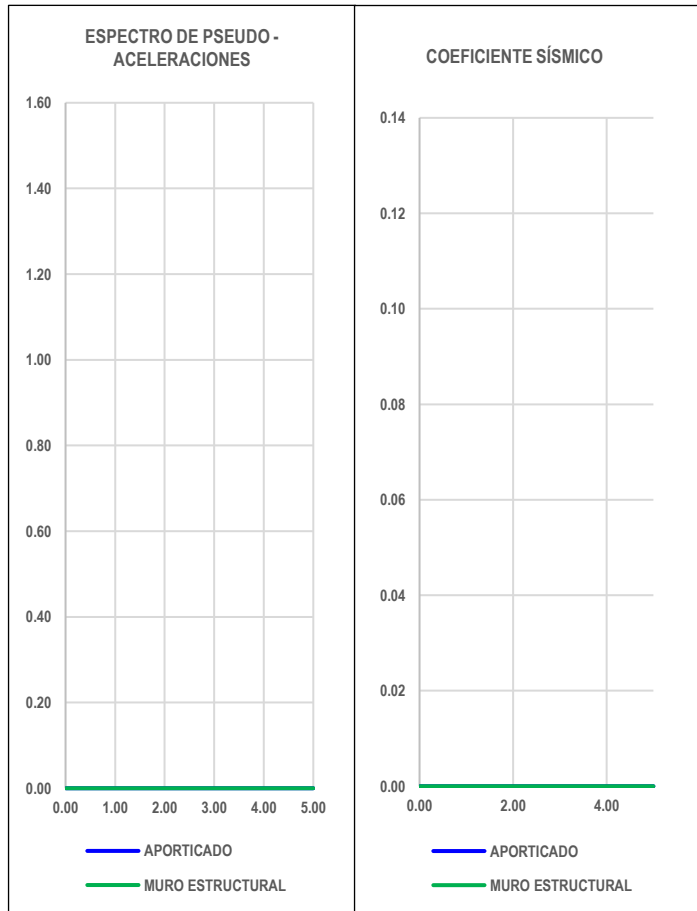
AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	-	-	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	-	-	-

PARÁMETROS SÍSMICOS:

ZONA SÍSMICA	Zona -			T_p - T_L
CATEGORÍA DE LA EDIFICACIÓN	Categoría -	FACTORES DE SUELO		S - -
PERFIL DEL SUELO	Perfil -			ST1 ST2
SISTEMA ESTRUCTURAL	Sistema -	COEFICIENTE PARA DETERMINAR EL T		Ct - -
IRREGULARIDAD EN ALTURA	la -	COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN		Ro - -
IRREGULARIDAD EN PLANTA	lp -			
FACTOR DE ZONA	Z -	COEFICIENTES OBTENIDOS		ST1 ST2
FACTOR DE USO	U -	COEFICIENTE DE REDUCCIÓN	$Ro^{*}la^{*}lp$	R - -
FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA	C -	COEFICIENTE SÍSMICO	$Z^{*}S^{*}C$	V - -
FACTORES DE SUELO	S -	COEFICIENTE CORTANTE EN LA BASE	$Z^{*}U^{*}C^{*}S/R$	V - -

ESPECTRO DE RESPUESTA - DATA

C	T	ZUCS/R	Sa
2.50	0.01	- -	- -
2.50	0.02	- -	- -
2.50	0.03	- -	- -
2.50	0.04	- -	- -
2.50	0.05	- -	- -
2.50	0.06	- -	- -
2.50	0.07	- -	- -
2.50	0.08	- -	- -
2.50	0.09	- -	- -
2.50	0.10	- -	- -
2.50	0.20	- -	- -
2.50	0.30	- -	- -
2.50	0.40	- -	- -
2.50	0.50	- -	- -
2.50	0.60	- -	- -
2.50	0.70	- -	- -
2.50	0.80	- -	- -
2.50	0.90	- -	- -
2.50	1.00	- -	- -
2.50	2.00	- -	- -
2.50	3.00	- -	- -
2.50	4.00	- -	- -
2.50	5.00	- -	- -





FORMATO 04: Irregularidades estructurales

FORMATO 04: IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

I / IRDEXCEL - F004 / IE

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	-	-	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	-	-	-

ESTRUCTURA: EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO

1. IA: Irregularidad de rigidez - piso blando y piso débil

Nivel	Diafragma	UX	UY	VX	VY	REL. X	REL. Y	Rigidez X	Rigidez Y	< 70%		< 80% X(i+3)	
		[cm]	[cm]	[ton-f]	[ton-f]	[cm]	[cm]	[ton-f/cm]	[ton-f/cm]	X	Y	X	Y
Story4	D4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story3	D3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story2	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story1	D1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

2. IA: Irregularidad extrema de rigidez y resistencia

Nivel	Diafragma	UX	UY	VX	VY	REL. X	REL. Y	Rigidez X	Rigidez Y	< 60%		< 70% X(i+3)	
		[cm]	[cm]	[ton-f]	[ton-f]	[cm]	[cm]	[ton-f/cm]	[ton-f/cm]	X	Y	X	Y
Story4	D4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story3	D3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story2	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story1	D1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3. IA: Irregularidad de masa o peso

Nivel	Diafragma	X	Y	> 1.5	> 1.5	Nivel	Diafragma	X	Y	> 1.5	> 1.5
		tonf-s ² /m	tonf-s ² /m	X	Y			tonf-s ² /m	tonf-s ² /m	X	Y
Story4	D14	-	-	-	-	Story4	D4	-	-	-	-
Story3	D13	-	-	-	-	Story3	D3	-	-	-	-
Story2	D12	-	-	-	-	Story2	D2	-	-	-	-
Story1	D11	-	-	-	-	Story1	D1	-	-	-	-

7. IP: Irregularidad torsional y torsional extrema

Nivel	Diafragma	SX		SY		SX		SY		PROM. SX	PROM. SY	MAX PROM SX	MAX PROM SY
		D. ABSOLUTOS [m]		D. RELATIVOS [m]		D. RELATIVOS [cm]		D. RELATIVOS [cm]					
		Label 7	Label 9	Label 9	Label 3	Label 7	Label 9	Label 9	Label 3				
Story4	D4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story3	D3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story2	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story1	D1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

IRREGULARIDAD EN ALTURA

	ST01	ST02
Irregularidad de rigidez - piso blando	[0.75]	-
Irregularidad de rigidez - piso débil	[0.75]	-
Irregularidad extrema de rigidez	[0.50]	-
Irregularidad extrema de resistencia	[0.50]	-
Irregularidad de masa o peso	[0.90]	-
Irregularidad geométrica vertical	[0.90]	-
Discontinuidad en los sistemas resistentes	[0.80]	-
Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes	[0.60]	-

IRREGULARIDAD EN PLANTA

	ST01	ST02
Irregularidad torsional	[0.75]	-
Irregularidad torsional extrema	[0.60]	-
Esquinas entrantes	[0.90]	-
Discontinuidad del diafragma	[0.85]	-
Sistemas no paralelos	[0.90]	-



FORMATO 05: Frecuencias de excitación

FORMATO 05: FRECUENCIAS DE EXCITACIÓN

I / IRDEXCEL - F005 / FE

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	-	-	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	-	-	

FRECUENCIAS DE EXCITACIÓN QUE IMPLIQUEN CONTACTO

F1 :	FRECUENCIA 01	= - Hz	F4 :	FRECUENCIA 04	= - Hz
F2 :	FRECUENCIA 02	= - Hz	F5 :	FRECUENCIA 05	= - Hz
F3 :	FRECUENCIA 03	= - Hz	F6 :	FRECUENCIA 06	= - Hz

FORMATO 06: Juntas sísmicas

AUTOR	COMENTARIO	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	-	-	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	-	-	

JUNTA SÍSMICA		JUNTA SÍSMICA		JUNTA SÍSMICA	
GAP	[cm]	GAP	[cm]	GAP	[cm]
G1	-	G15	-	G29	-
G2	-	G16	-	G30	-
G3	-	G17	-	G31	-
G4	-	G18	-	G32	-
G5	-	G19	-	G33	-
G6	-	G20	-	G34	-
G7	-	G21	-	G35	-
G8	-	G22	-	G36	-
G9	-	G23	-	G37	-
G10	-	G24	-	G38	-
G11	-	G25	-	G39	-
G12	-	G26	-	G40	-
G13	-	G27	-	G41	-
G14	-	G28	-		

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos de ETABS

FORMATO 07: Periodos estructurales

FORMATO 07: MODOS DE VIBRACIÓN, PERIODOS Y FRECUENCIAS NATURALES

I / IRDETABS - F007 / MPF

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	-	-	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	-	-	

Modo	Periodo		Frecuencia		Eigenvalue	
	[s]	[s]	[Hz]	[Hz]	[rad ² /s ²]	[rad ² /s ²]
	ST01	ST02	ST01	ST02	ST01	ST02
1.00	-	-	-	-	-	-
2.00	-	-	-	-	-	-
3.00	-	-	-	-	-	-
10.00	-	-	-	-	-	-



FORMATO 08: Desplazamientos inelásticos

FORMATO 08: DESPLAZAMIENTOS

I / IRDETABS - F008 / DE -

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	-	-	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	-	-	

ESTRUCTURA 01: EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO DE 04 NIVELES

Nivel	Diafragma	Sismo - XX		Sismo - YY		XX	YY	Desplazamiento relativo	Desplazamiento por nivel		
		Drift X	Drift Y	Drift X	Drift Y				0.75*R	0.75*R	Sismo - XX
Story4	D4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story3	D3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story2	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story1	D1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ESTRUCTURA 02: EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO DE 15 NIVELES

Nivel	Diafragma	Sismo - XX		Sismo - YY		XX	YY	Desplazamiento relativo	Desplazamiento por nivel	
		Drift X	Drift Y	Drift X	Drift Y				0.75*R	0.75*R
Story5	D5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story4	D4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story3	D3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story2	D2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Story1	D1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.4.3. Instrumentos de ingeniería

- Planos idealizados de los sistemas estructurales.
- Bosquejos de las estructuras adyacentes de concreto armado.
- Archivos fotográficos.
- Memorias de cálculo
- Recursos computacionales: ETABS y EXCEL.



3.5. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.5.1. REGISTRO 01: Propiedades mecánicas del concreto y acero

FORMATO 01: PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

I / IRDEXCEL - F001 / PMCA

REV. 02

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	IDEALIZADO (PROPIA)	01/11/2021	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	-	25/02/2022	

PROPIEDAD		CONCRETO	ACERO DE REFUERZO	UND
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	: [fc]	210,280	-	kg/cm ²
ESFUERZO DE FLUENCIA	: [fy]	-	4280	kg/cm ²
ESFUERZO DE RESISTENCIA A TRACCIÓN	: [fu]	-	6320	kg/cm ²
COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICO	: [T]	(7 - 12) E-06	12 E-06	1/C°
PESO ESPECÍFICO	: [g]	2.40	7.85	ton/m ³
MODULO DE ELASTICIDAD	: [E]	217370.65, 250998.01	2.039x10 ⁶	kg/cm ²
MODULO DE CORTE	: [G]	94508.98, 109129.57	-	kg/cm ²
MODULO DE POISSON	: [v]	0.15 - 0.25	0.30	A

3.5.2. REGISTRO 02: Metrado de carga

FORMATO 02: METRADO DE CARGAS

I / IRDEXCEL - F002 / MC

REV. 02

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	NTP E020	01/11/2021	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	Usos: ST01 vivienda y ST02 tienda y gimnasio	25/02/2022	

CARGAS ACTUANTES - ST01	CANTIDAD	VOLUMEN (m ³)	P.U. (ton/m ³)	CARGA (tonf)
DEAD				
LOSA ALIGERADA	4.00	40.13	1.40	224.70
COLUMNA	16.00	1.66	2.40	63.90
VIGA	4.00	13.80	2.40	132.48
PLACA	1.00	8.32	2.40	19.97
CM: PISO TERMINADO				
LOSETA	1.00	3.61	2.40	8.67
CM: TABIQUERÍA				
SOGA XX - YY	1.00	321.30	0.23	72.29
CABEZA XX - YY	1.00	27.30	0.36	9.91
LIVE				
TIENDAS	1.00	160.50	0.50	80.25
GIMNASIO	1.00	321.00	0.40	128.40
CV: TECHO				
TECHO	1.00	160.50	0.10	16.05
CARGA TOTAL (ton-f)				756.62

CARGAS ACTUANTES - ST02	CANTIDAD	VOLUMEN (m ³)	P.U. (ton/m ³)	CARGA (tonf)
DEAD				
LOSA ALIGERADA	15.00	93.75	1.40	1968.75
COLUMNA	16.00	14.36	2.40	551.58
VIGA	15.00	24.75	2.40	891.00
PLACA	15.00	10.80	2.40	388.80
CM: PISO TERMINADO				
MADERA	1.00	93.75	0.75	70.31
LOSETA	1.00	14.06	2.4	33.75
CM: TABIQUERÍA				
SOGA XX - YY	1.00	2310.00	0.23	519.75
CABEZA XX - YY	1.00	1155.00	0.36	419.27
LIVE				
VIVIENDA	1.00	3750.00	0.20	750.00
TIENDAS	1.00	750.00	0.50	375.00
DEPÓSITO	1.00	375.00	0.50	187.50
GARAGE	1.00	375.00	0.25	93.75
CV: TECHO				
TECHO	1.00	375.00	0.10	37.50
CARGA TOTAL (ton-f)				6286.96



3.5.3. REGISTRO 03: Parámetros sísmicos del sitio

FORMATO 03: PARÁMETROS SÍSMICOS DEL SITIO

I / IRDEXCEL - F003 / PSS

REV. 02

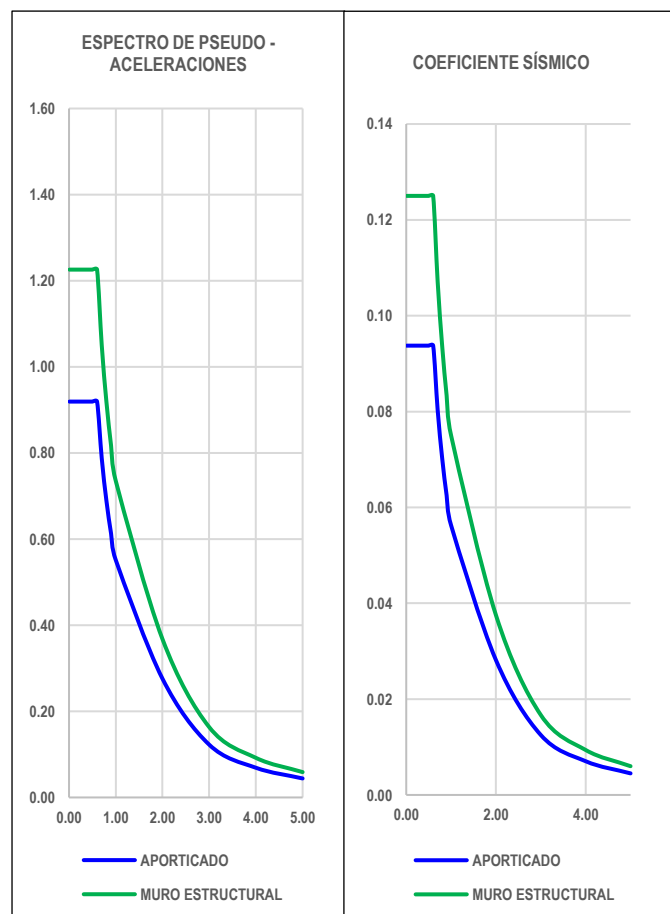
AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	NTP E030	01/11/2021	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	Ubicación: Cusco - Cusco - Cusco	25/02/2022	

PARÁMETROS SÍSMICOS:

ZONA SÍSMICA	Zona	2		T_P	T_L
CATEGORÍA DE LA EDIFICACIÓN	Categoría	C	FACTORES DE SUELO	S	0.60 2.00
PERFIL DEL SUELO	Perfil	S2			ST1 ST2
SISTEMA ESTRUCTURAL	Sistema	-	COEFICIENTE PARA DETERMINAR EL T	Ct	32 60
IRREGULARIDAD EN ALTURA	la	1.00	COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN	Ro	8.00 6.00
IRREGULARIDAD EN PLANTA	lp	1.00			
FACTOR DE ZONA	Z	0.25	COEFICIENTES OBTENIDOS		ST1 ST2
FACTOR DE USO	U	1.00	COEFICIENTE DE REDUCCIÓN	$Ro^{I_a} I_p$	R 8.00 6.00
FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA	C	2.50	COEFICIENTE SÍSMICO	$Z^* S^* C$	V 0.75 0.75
FACTORES DE SUELO	S	1.20	COEFICIENTE CORTANTE EN LA BASE	$Z^* U^* C^* S^* R$	V 0.09 0.13

ESPECTRO DE RESPUESTA - DATA

C	T	ZUCS/R	Sa		
2.50	0.01	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.02	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.03	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.04	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.05	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.06	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.07	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.08	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.09	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.10	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.20	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.30	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.40	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.50	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.50	0.60	0.1250	0.0938	1.2258	0.9194
2.14	0.70	0.1071	0.0804	1.0507	0.7880
1.88	0.80	0.0938	0.0703	0.9194	0.6895
1.67	0.90	0.0833	0.0625	0.8172	0.6129
1.50	1.00	0.0750	0.0563	0.7355	0.5516
0.75	2.00	0.0375	0.0281	0.3677	0.2758
0.33	3.00	0.0167	0.0125	0.1634	0.1226
0.19	4.00	0.0094	0.0070	0.0919	0.0690
0.12	5.00	0.0060	0.0045	0.0588	0.0441





3.5.4. REGISTRO 04: Irregularidades estructurales

FORMATO 04: IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES

I / IRDEXCEL - F004 / IE

REV. 02

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	SOFTWARE ETABS	01/11/2021	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	Edificaciones con sistemas estructurales regulares	25/02/2022	

ESTRUCTURA 01: EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO DE 04 NIVELES

1. IA: Irregularidad de rigidez - piso blando y piso débil

Nivel	Diafragma	UX	UY	VX	VY	REL. X	REL. Y	Rigidez X	Rigidez Y	< 70%		< 80% X(i+3)	
		[cm]	[cm]	[ton-f]	[ton-f]	[cm]	[cm]	[ton-f/cm]	[ton-f/cm]	X	Y	X	Y
Story4	D4	0.0037	0.0071	18.84	18.77	0.0008	0.0014	23319	13821	1.00	1.00	1.00	1.00
Story3	D3	0.0029	0.0058	37.29	37.83	0.0010	0.0019	38093	20293	1.63	1.47	1.63	1.47
Story2	D2	0.0019	0.0039	49.51	50.95	0.0010	0.0021	50015	23819	1.31	1.17	1.63	1.40
Story1	D1	0.0009	0.0018	56.47	57.82	0.0009	0.0018	63445	32614	1.27	1.37	1.71	1.69
Story15	D15	0.0375	0.0308	40.00	41.46	0.0017	0.0013	24050	32543	1.00	1.00	1.00	1.00
Story14	D14	0.0358	0.0295	82.02	88.58	0.0018	0.0014	45114	61728	1.88	1.90	1.88	1.90
Story13	D13	0.0340	0.0281	114.21	126.77	0.0020	0.0016	56315	78108	1.25	1.27	1.63	1.66
Story12	D12	0.0319	0.0264	139.75	158.51	0.0023	0.0018	61784	86855	1.10	1.11	1.48	1.51
Story11	D11	0.0297	0.0246	160.68	185.54	0.0025	0.0020	64273	91624	1.04	1.05	1.18	1.21
Story10	D10	0.0272	0.0226	178.52	209.15	0.0027	0.0022	65465	94554	1.02	1.03	1.08	1.11
Story9	D9	0.0245	0.0204	194.48	230.33	0.0029	0.0024	66443	96817	1.01	1.02	1.04	1.06
Story8	D8	0.0215	0.0180	209.44	249.75	0.0031	0.0025	67802	99464	1.02	1.03	1.04	1.05
Story7	D7	0.0184	0.0155	223.96	267.85	0.0032	0.0026	70032	102941	1.03	1.03	1.05	1.06
Story6	D6	0.0152	0.0129	238.21	284.76	0.0032	0.0026	73659	107945	1.05	1.05	1.08	1.08
Story5	D5	0.0120	0.0102	251.96	300.32	0.0032	0.0026	79409	115463	1.08	1.07	1.13	1.12
Story4	D4	0.0088	0.0076	265.42	314.96	0.0030	0.0025	88947	127307	1.12	1.10	1.20	1.17
Story3	D3	0.0058	0.0052	276.95	327.16	0.0026	0.0022	105625	147238	1.19	1.16	1.31	1.26
Story2	D2	0.0032	0.0029	285.45	336.03	0.0020	0.0018	140617	186578	1.33	1.27	1.54	1.44
Story1	D1	0.0012	0.0011	289.88	340.58	0.0012	0.0011	242582	297972	1.73	1.60	2.17	1.94

2. IA: Irregularidad extrema de rigidez y resistencia

Nivel	Diafragma	UX	UY	VX	VY	REL. X	REL. Y	Rigidez X	Rigidez Y	< 60%		< 70% X(i+3)	
		[cm]	[cm]	[ton-f]	[ton-f]	[cm]	[cm]	[ton-f/cm]	[ton-f/cm]	X	Y	X	Y
Story4	D4	0.0037	0.0071	18.84	18.77	0.0008	0.0014	23319	13821	1.00	1.00	1.00	1.00
Story3	D3	0.0029	0.0058	37.29	37.83	0.0010	0.0019	38093	20293	1.63	1.47	1.63	1.47
Story2	D2	0.0019	0.0039	49.51	50.95	0.0010	0.0021	50015	23819	1.31	1.17	1.63	1.40
Story1	D1	0.0009	0.0018	56.47	57.82	0.0009	0.0018	63445	32614	1.27	1.37	1.71	1.69
Story15	D15	0.0375	0.0308	40.00	41.46	0.0017	0.0013	24050	32543	1.00	1.00	1.00	1.00
Story14	D14	0.0358	0.0295	82.02	88.58	0.0018	0.0014	45114	61728	1.88	1.90	1.88	1.90
Story13	D13	0.0340	0.0281	114.21	126.77	0.0020	0.0016	56315	78108	1.25	1.27	1.63	1.66
Story12	D12	0.0319	0.0264	139.75	158.51	0.0023	0.0018	61784	86855	1.10	1.11	1.48	1.51
Story11	D11	0.0297	0.0246	160.68	185.54	0.0025	0.0020	64273	91624	1.04	1.05	1.18	1.21
Story10	D10	0.0272	0.0226	178.52	209.15	0.0027	0.0022	65465	94554	1.02	1.03	1.08	1.11
Story9	D9	0.0245	0.0204	194.48	230.33	0.0029	0.0024	66443	96817	1.01	1.02	1.04	1.06
Story8	D8	0.0215	0.0180	209.44	249.75	0.0031	0.0025	67802	99464	1.02	1.03	1.04	1.05
Story7	D7	0.0184	0.0155	223.96	267.85	0.0032	0.0026	70032	102941	1.03	1.03	1.05	1.06
Story6	D6	0.0152	0.0129	238.21	284.76	0.0032	0.0026	73659	107945	1.05	1.05	1.08	1.08
Story5	D5	0.0120	0.0102	251.96	300.32	0.0032	0.0026	79409	115463	1.08	1.07	1.13	1.12



Story4	D4	0.0088	0.0076	265.42	314.96	0.0030	0.0025	88947	127307	1.12	1.10	1.20	1.17
Story3	D3	0.0058	0.0052	276.95	327.16	0.0026	0.0022	105625	147238	1.19	1.16	1.31	1.26
Story2	D2	0.0032	0.0029	285.45	336.03	0.0020	0.0018	140617	186578	1.33	1.27	1.54	1.44
Story1	D1	0.0012	0.0011	289.88	340.58	0.0012	0.0011	242582	297972	1.73	1.60	2.17	1.94

3. IA: Irregularidad de masa o peso

Nivel	Diafragma	X	Y	> 1.5	> 1.5
		tonf-s ² /m	tonf-s ² /m	X	Y
Story4	D4	14.20	14.20	1.00	1.00
Story3	D3	19.88	19.88	1.40	1.40
Story2	D2	19.88	19.88	1.00	0.71
Story1	D1	20.57	20.57	1.03	1.03
Story15	D15	31.50	31.50	1.00	1.00
Story14	D14	45.87	45.87	1.46	1.46
Story13	D13	45.87	45.87	1.00	1.00
Story12	D12	45.87	45.87	1.00	1.00
Story11	D11	45.87	45.87	1.00	1.00

Nivel	Diafragma	X	Y	> 1.5	> 1.5
		tonf-s ² /m	tonf-s ² /m	X	Y
Story10	D10	45.87	45.87	1.00	1.00
Story9	D9	45.87	45.87	1.00	1.00
Story8	D8	45.87	45.87	1.00	1.00
Story7	D7	45.87	45.87	1.00	1.00
Story6	D6	45.87	45.87	1.00	1.00
Story5	D5	45.87	45.87	1.00	1.00
Story4	D4	48.40	48.40	1.06	1.06
Story3	D3	48.40	48.40	1.00	1.00
Story2	D2	48.40	48.40	1.00	1.00
Story1	D1	47.92	47.92	0.99	0.99

7. IP: Irregularidad torsional y torsional extrema

Nivel	Diafragma	SX		SY		SX		SY		PROM. SX	PROM. SY	MAX PROM SX	MAX PROM SY
		D. ABSOLUTOS [m]		D. RELATIVOS [m]		D. RELATIVOS [cm]		D. RELATIVOS [cm]					
		Label 7	Label 9	Label 9	Label 3	Label 7	Label 9	Label 9	Label 3				
Story4	D4	0.0040	0.0046	0.0078	0.0078	0.0780	0.0974	0.1434	0.1434	0.09	0.14	1.11	1.00
Story3	D3	0.0032	0.0037	0.0063	0.0063	0.1003	0.1212	0.1998	0.1998	0.11	0.20	1.09	1.00
Story2	D2	0.0022	0.0025	0.0043	0.0043	0.1092	0.1248	0.2321	0.2321	0.12	0.23	1.07	1.00
Story1	D1	0.0011	0.0012	0.0020	0.0020	0.1106	0.1215	0.2019	0.2019	0.12	0.20	1.05	1.00
Story15	D15	0.0410	0.0410	0.0323	0.0323	0.1815	0.1815	0.1336	0.1336	0.18	0.13	1.00	1.00
Story14	D14	0.0392	0.0392	0.0309	0.0309	0.1989	0.1989	0.1504	0.1504	0.20	0.15	1.00	1.00
Story13	D13	0.0372	0.0372	0.0294	0.0294	0.2220	0.2220	0.1703	0.1703	0.22	0.17	1.00	1.00
Story12	D12	0.0350	0.0350	0.0277	0.0277	0.2479	0.2479	0.1914	0.1914	0.25	0.19	1.00	1.00
Story11	D11	0.0325	0.0325	0.0258	0.0258	0.2739	0.2739	0.2125	0.2125	0.27	0.21	1.00	1.00
Story10	D10	0.0298	0.0298	0.0237	0.0237	0.2987	0.2987	0.2322	0.2322	0.30	0.23	1.00	1.00
Story9	D9	0.0268	0.0268	0.0214	0.0214	0.3205	0.3205	0.2496	0.2496	0.32	0.25	1.00	1.00
Story8	D8	0.0236	0.0236	0.0189	0.0189	0.3382	0.3382	0.2636	0.2636	0.34	0.26	1.00	1.00
Story7	D7	0.0202	0.0202	0.0162	0.0162	0.3500	0.3500	0.2731	0.2731	0.35	0.27	1.00	1.00
Story6	D6	0.0167	0.0167	0.0135	0.0135	0.3540	0.3540	0.2768	0.2768	0.35	0.28	1.00	1.00
Story5	D5	0.0132	0.0132	0.0107	0.0107	0.3474	0.3474	0.2730	0.2730	0.35	0.27	1.00	1.00
Story4	D4	0.0097	0.0097	0.0080	0.0080	0.3268	0.3268	0.2595	0.2595	0.33	0.26	1.00	1.00
Story3	D3	0.0064	0.0064	0.0054	0.0054	0.2873	0.2873	0.2330	0.2330	0.29	0.23	1.00	1.00
Story2	D2	0.0035	0.0035	0.0031	0.0031	0.2227	0.2227	0.1884	0.1884	0.22	0.19	1.00	1.00
Story1	D1	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.1313	0.1313	0.1193	0.1193	0.13	0.12	1.00	1.00

IRREGULARIDAD EN ALTURA

	ST01	ST02
Irregularidad de rigidez - piso blando	[0.75]	NO NO
Irregularidad de rigidez - piso débil	[0.75]	NO NO
Irregularidad extrema de rigidez	[0.50]	NO NO
Irregularidad extrema de resistencia	[0.50]	NO NO
Irregularidad de masa o peso	[0.90]	NO NO
Irregularidad geométrica vertical	[0.90]	NO NO
Discontinuidad en los sistemas resistentes	[0.80]	NO NO
Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes	[0.60]	NO NO

IRREGULARIDAD EN PLANTA

	ST01	ST02
Irregularidad torsional	[0.75]	NO NO
Irregularidad torsional extrema	[0.60]	NO NO
Esquinas entrantes	[0.90]	NO NO
Discontinuidad del diafragma	[0.85]	NO NO
Sistemas no paralelos	[0.90]	NO NO

3.5.5. REGISTRO 05: Frecuencias de excitación

FORMATO 05: FRECUENCIAS DE EXCITACIÓN

I / IRDEXCEL - F005 / FE

REV. 02

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	SOFTWARE ETABS	01/11/2021	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	-	25/02/2022	

FRECUENCIAS DE EXCITACIÓN QUE IMPLIQUEN CONTACTO

F1	:	FRECUENCIA 01	=	0.25	Hz	F4	:	FRECUENCIA 04	=	2.00	Hz
F2	:	FRECUENCIA 02	=	0.50	Hz	F5	:	FRECUENCIA 05	=	4.00	Hz
F3	:	FRECUENCIA 03	=	1.00	Hz	F6	:	FRECUENCIA 06	=	8.00	Hz

3.5.6. REGISTRO 06: Juntas sísmicas

FORMATO 06: JUNTAS SÍSMICAS

I / IRDEXCEL - F006 / JS

REV. 02

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	IDEALIZADO (PROPIA)	01/11/2021	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	Juntas de separación sísmicas entre estructuras de concreto armado	25/02/2022	

JUNTA SÍSMICA		JUNTA SÍSMICA		JUNTA SÍSMICA	
GAP	[cm]	GAP	[cm]	GAP	[cm]
G1	0.00	G15	3.50	G29	7.00
G2	0.25	G16	3.75	G30	7.25
G3	0.50	G17	4.00	G31	7.50
G4	0.75	G18	4.25	G32	7.75
G5	1.00	G19	4.50	G33	8.00
G6	1.25	G20	4.75	G34	8.25
G7	1.50	G21	5.00	G35	8.50
G8	1.75	G22	5.25	G36	8.75
G9	2.00	G23	5.50	G37	9.00
G10	2.25	G24	5.75	G38	9.25
G11	2.50	G25	6.00	G39	9.50
G12	2.75	G26	6.25	G40	9.75
G13	3.00	G27	6.50	G41	10.00
G14	3.25	G28	6.75		

3.5.7. REGISTRO 07: Modos de vibración, periodos y frecuencias naturales

FORMATO 07: MODOS DE VIBRACIÓN, PERIODOS Y FRECUENCIAS NATURALES

I / IRDETABS - F007 / MPF

REV. 02

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	SOFTWARE ETABS	01/11/2022	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	Periodos y frecuencias predominantes en el modo 01	25/02/2022	

Modo	Periodo		Frecuencia		Eigenvalue	
	[s]	[s]	[Hz]	[Hz]	[rad ² /s ²]	[rad ² /s ²]
	ST01	ST02	ST01	ST02	ST01	ST02
1.00	0.48	1.43	2.12	0.70	177.47	19.59
2.00	0.47	1.18	2.14	0.85	180.14	28.37
3.00	0.33	1.08	3.00	0.92	356.33	33.69
4.00	0.15	0.40	6.87	2.51	1863.18	248.85
5.00	0.13	0.34	7.69	2.94	2333.85	341.16
6.00	0.09	0.31	10.76	3.21	4569.39	407.47
7.00	0.08	0.19	12.75	5.36	6418.10	1133.31
8.00	0.06	0.17	16.58	5.99	10851.02	1414.10
9.00	0.05	0.15	19.11	6.68	14409.64	1759.72
10.00	0.05	0.11	20.50	9.40	16582.53	3487.72



3.5.8. REGISTRO 08: Desplazamientos inelásticos

FORMATO 08: DESPLAZAMIENTOS

I / IRDETABS - F008 / DE REV. 02

AUTOR	FUENTE DE DATOS	FECHA DE OBTENCIÓN DE DATOS	
BACH. KIM CHANG CARDENAS	SOFTWARE ETABS	01/11/2021	
ASESOR DE TESIS	COMENTARIO	REVISIÓN	APROBACIÓN
DR. ELIOT PEZO ZEGARRA	Estructuras dentro de los límites de distorsión permisibles para C.A.	25/02/2022	

ESTRUCTURA 01: EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO DE 04 NIVELES

Nivel	Diafragma	Sismo - XX		Sismo - YY		XX	YY	Desplazamiento relativo		Desplazamiento por nivel	
		Drift X	Drift Y	Drift X	Drift Y			0.75*R	0.75*R	Sismo - XX	Sismo - YY
Story4	D4	0.0005	0.0001	0.0000	0.0007	0.0028	0.0039	0.7238	1.0265	3.40	5.64
Story3	D3	0.0006	0.0002	0.0000	0.0009	0.0033	0.0054	0.8627	1.4009	2.67	4.61
Story2	D2	0.0006	0.0002	0.0000	0.0011	0.0035	0.0066	0.9173	1.7051	1.81	3.21
Story1	D1	0.0004	0.0002	0.0000	0.0007	0.0026	0.0043	0.8925	1.5078	0.89	1.51

ESTRUCTURA 02: EDIFICACIÓN DE CONCRETO ARMADO DE 15 NIVELES

Nivel	Diafragma	Sismo - XX		Sismo - YY		XX	YY	Desplazamiento relativo		Desplazamiento por nivel	
		Drift X	Drift Y	Drift X	Drift Y			0.75*R	0.75*R	Sismo - XX	Sismo - YY
Story15	D15	0.00075	0.00000	0.00000	0.00054	0.0034	0.0024	0.87	0.63	18.96	14.85
Story14	D14	0.00082	0.00000	0.00000	0.00061	0.0037	0.0028	0.96	0.72	18.08	14.21
Story13	D13	0.00091	0.00000	0.00000	0.00069	0.0041	0.0031	1.07	0.81	17.12	13.50
Story12	D12	0.00101	0.00000	0.00000	0.00077	0.0046	0.0035	1.18	0.91	16.05	12.69
Story11	D11	0.00111	0.00000	0.00000	0.00085	0.0050	0.0038	1.30	1.00	14.87	11.78
Story10	D10	0.00120	0.00000	0.00000	0.00092	0.0054	0.0042	1.40	1.08	13.57	10.78
Story9	D9	0.00127	0.00000	0.00000	0.00099	0.0057	0.0044	1.49	1.15	12.18	9.70
Story8	D8	0.00133	0.00000	0.00000	0.00103	0.0060	0.0046	1.55	1.21	10.69	8.55
Story7	D7	0.00137	0.00000	0.00000	0.00106	0.0061	0.0048	1.60	1.24	9.14	7.34
Story6	D6	0.00137	0.00000	0.00000	0.00107	0.0062	0.0048	1.61	1.26	7.54	6.10
Story5	D5	0.00134	0.00000	0.00000	0.00106	0.0060	0.0047	1.57	1.23	5.93	4.84
Story4	D4	0.00126	0.00000	0.00000	0.00100	0.0057	0.0045	1.47	1.17	4.36	3.61
Story3	D3	0.00111	0.00000	0.00000	0.00090	0.0050	0.0040	1.29	1.05	2.89	2.43
Story2	D2	0.00086	0.00000	0.00000	0.00073	0.0039	0.0033	1.00	0.85	1.59	1.39
Story1	D1	0.00038	0.00000	0.00000	0.00034	0.0017	0.0015	0.59	0.54	0.59	0.54

3.6. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

3.6.1. Estructuras adyacentes de concreto armado

El caso de estudio tiene como ejemplo el de dos estructuras de concreto armado adyacentes de 04 y 15 pisos, los cuales se muestran en la **Figura 17**.

Las dos edificaciones se presentan en la realidad como dos estructuras con uso de vivienda y comercio, para la estructura 01, la de 04 niveles, se compone con dos tipos de cargas vivas, la de uso de Tiendas y Gimnasio, mientras que la estructura 02, la de 15 niveles, comprende cargas con uso de tiendas de la misma manera, junto con vivienda, la cual predomina desde el nivel 03 hasta el final. Dichas estructuras con uso de edificaciones fueron observadas en la Av. La Cultura en el distrito de Cusco, en la provincia y departamento de Cusco. Tal y como se ve en la realidad, se idealizaron dos estructuras como similares sistemas estructurales, los cuales fueron desarrollados conforme la NTP solicita para los análisis sísmicos según cada zonificación, uso, tipo de suelo y cada sistema estructural de cada edificación.

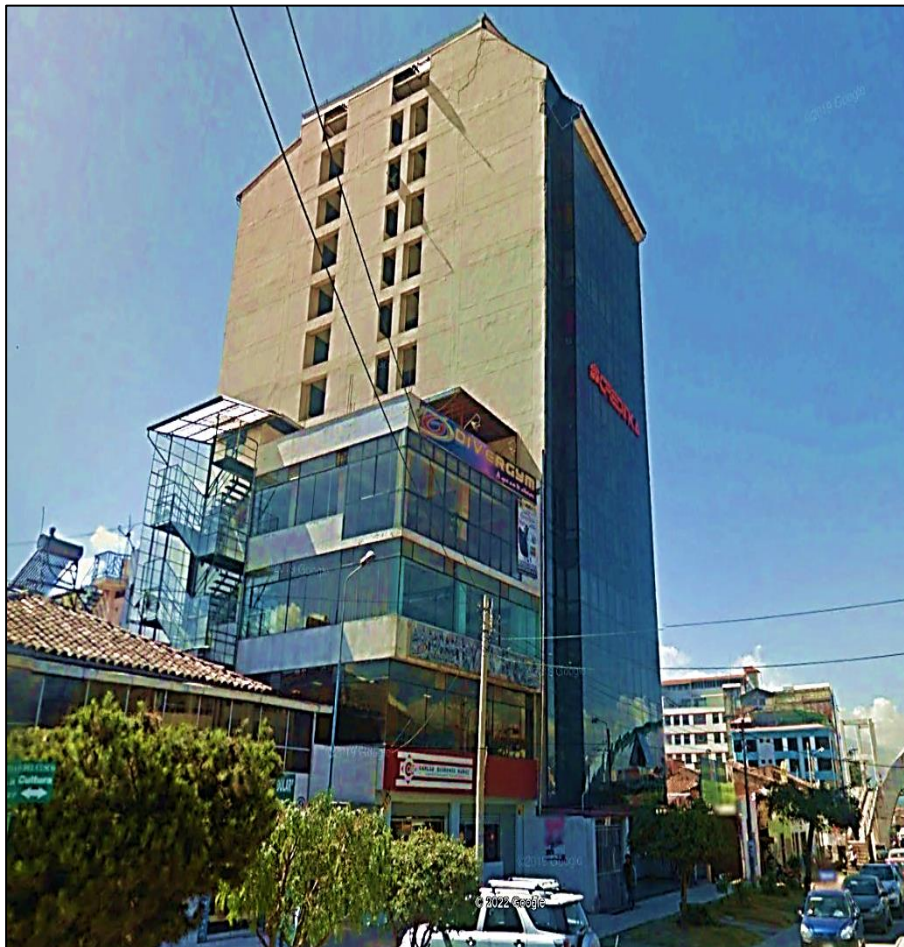


Figura 17: *Ejemplo de estructuras adyacentes de concreto armado*

Fuente: (Google Earth, 2021)

3.6.2. Idealización de los modelos estructurales

3.6.2.1. Modelos estructurales

Los modelos estructurales en la **Figura 18**, corresponden a la idealización de dos estructuras adyacentes de 04 y 15 niveles con dimensiones variables entre ejes principales, altura del primer nivel de 3.60m y de entre piso, 2.60m. Ambas estructuras presentan configuraciones regulares, favoreciendo el análisis sísmico y la evaluación post colisión. La idealización fue en base a la inspección visual realizada a las dos estructuras tipo vistas en la **Figura 17**, las cuales fueron propuestas como línea base de la investigación, ya que, según el investigador, no presenta una junta de separación sísmica mínimo según la E030, ($> 3.00\text{cm}$).

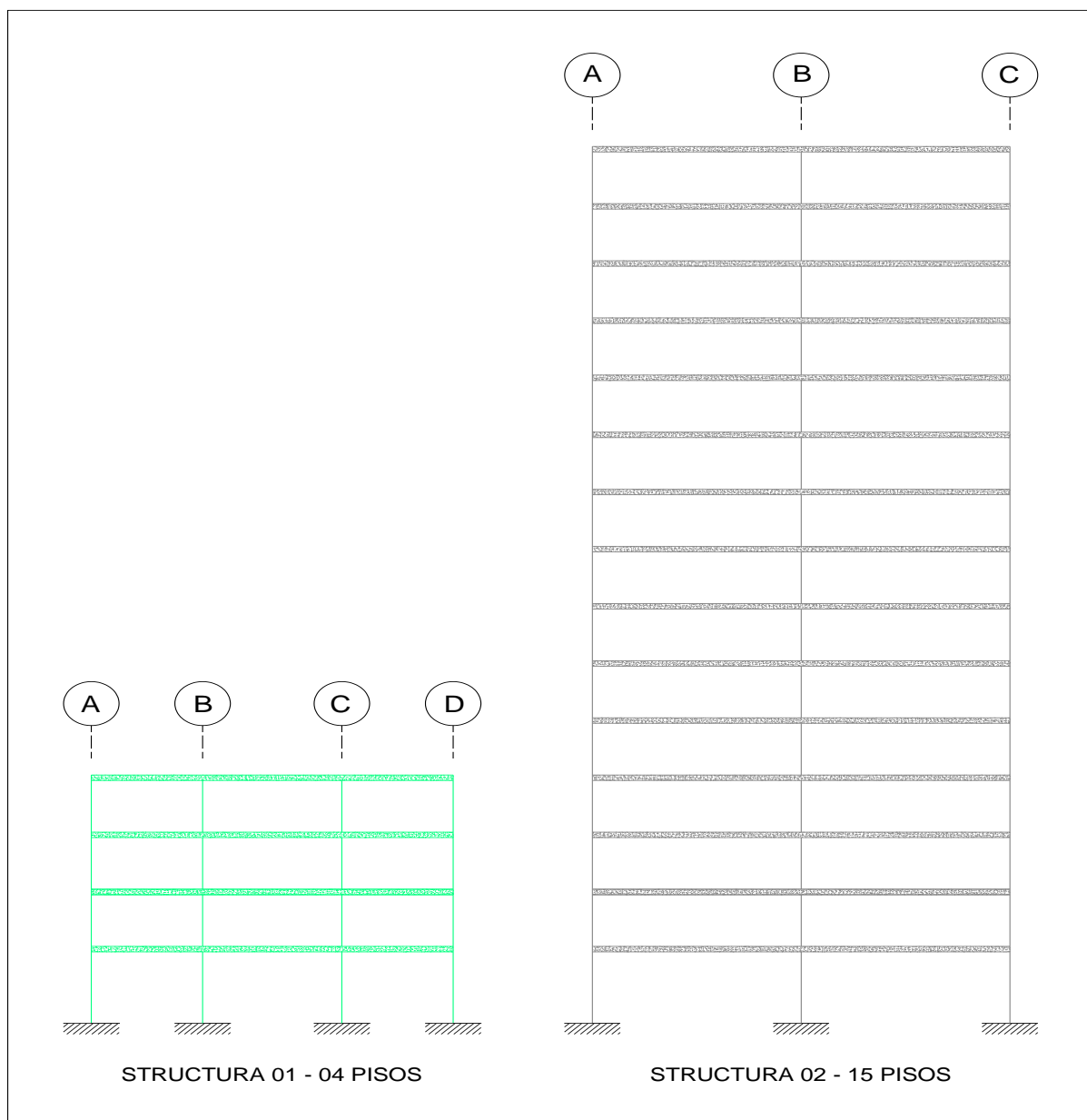


Figura 18: Idealización de los modelos estructurales

3.6.3. Planos de los sistemas estructurales

En las figuras a continuación correspondientes a la configuración estructural en planta de las dos estructuras de concreto armado, se visualiza en la **Figura 19**, para la estructura 01, un sistema de pórticos de concreto armado con un muro estructural como delimitación de los accesos al edificio, cabe recalcar que la fuerza cortante asumida por las columnas de concreto armado predomina en más del 80% del total.

En la **Figura 20**, para la estructura 02, se empleó un sistema dual con una absorción de fuerza cortante en los muros estructurales entre 20% - 70% del total, siendo la fuerza residual, asumida por las columnas de concreto armado.

3.6.3.1. Planta de estructura 01 y 02

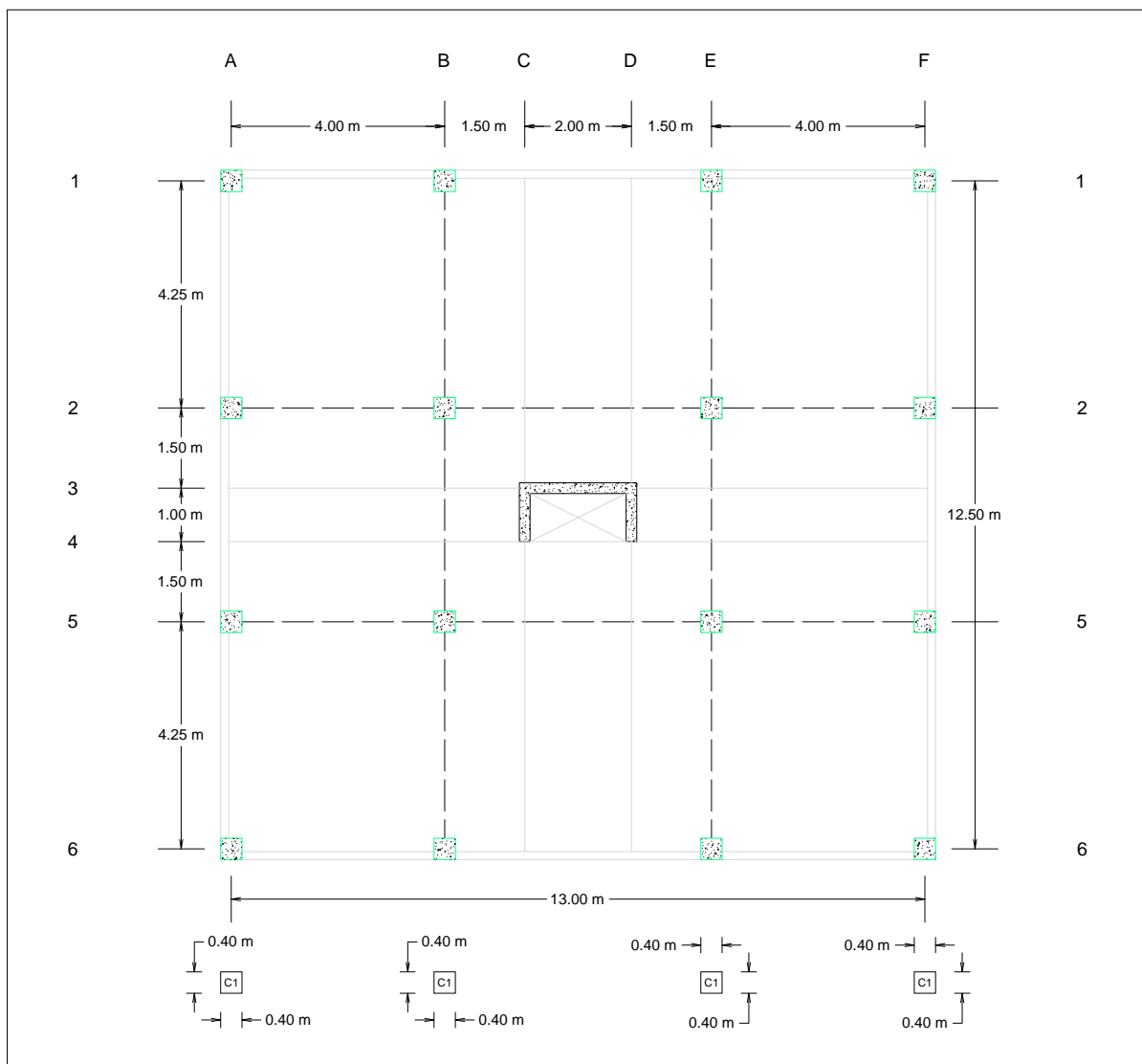


Figura 19: Planta – estructura 01 (04 niveles)

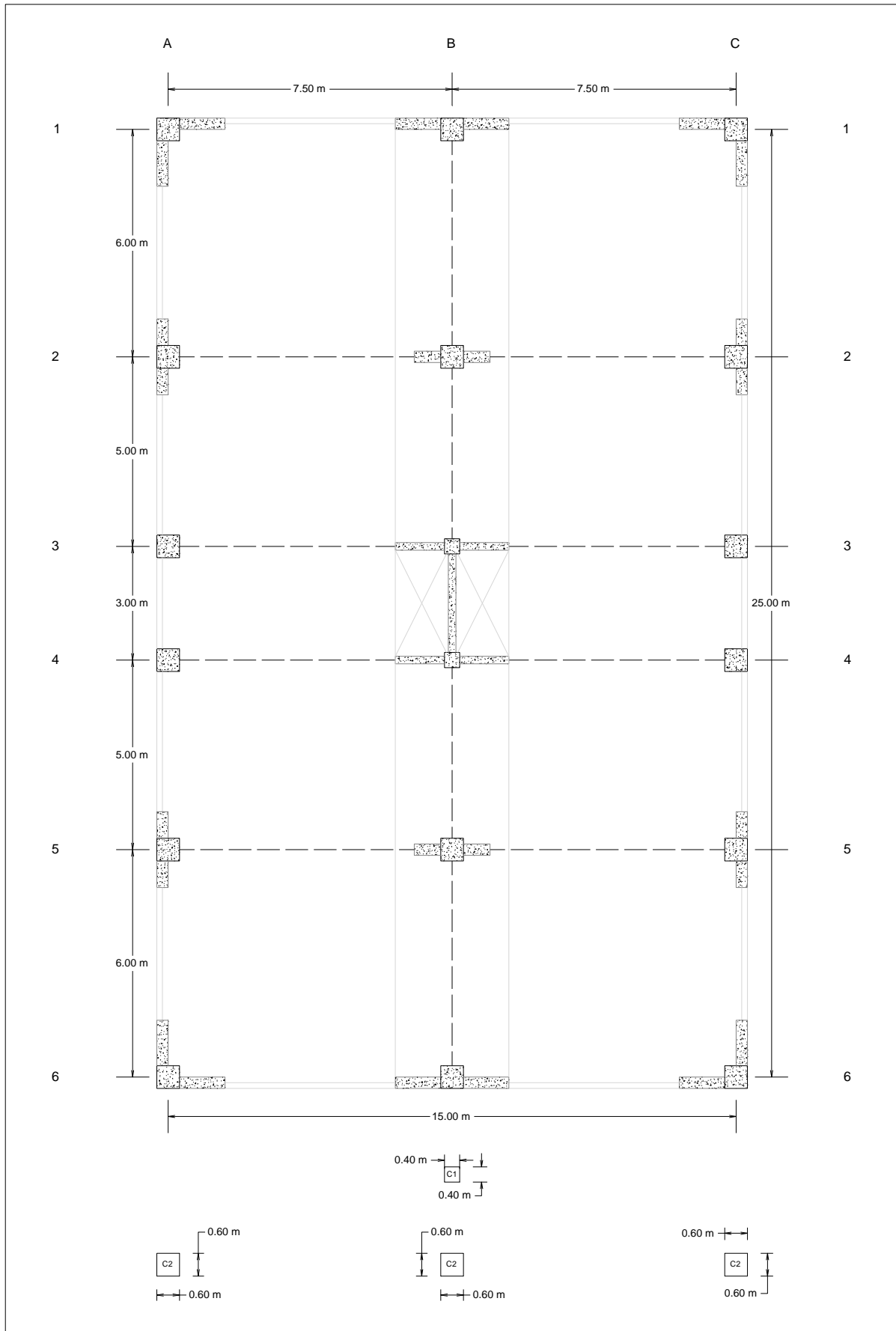


Figura 20: Planta – estructura 02 (15 niveles)

3.6.3.2. Elevación frontal de estructura 01 y 02

En la **Figura 21** se muestra el detalle del GAP VARIABLE, el cual significa que, al analizar las estructuras, se toma en consideración diferentes juntas de separación sísmicas, siendo estas las indicadas en el dibujo, desde 0.00cm hasta los 10cm, cabe recalcar que se tomaron los criterios de la NTP y la ASCE, como magnitudes de GAP para evaluarlas del mismo modo.

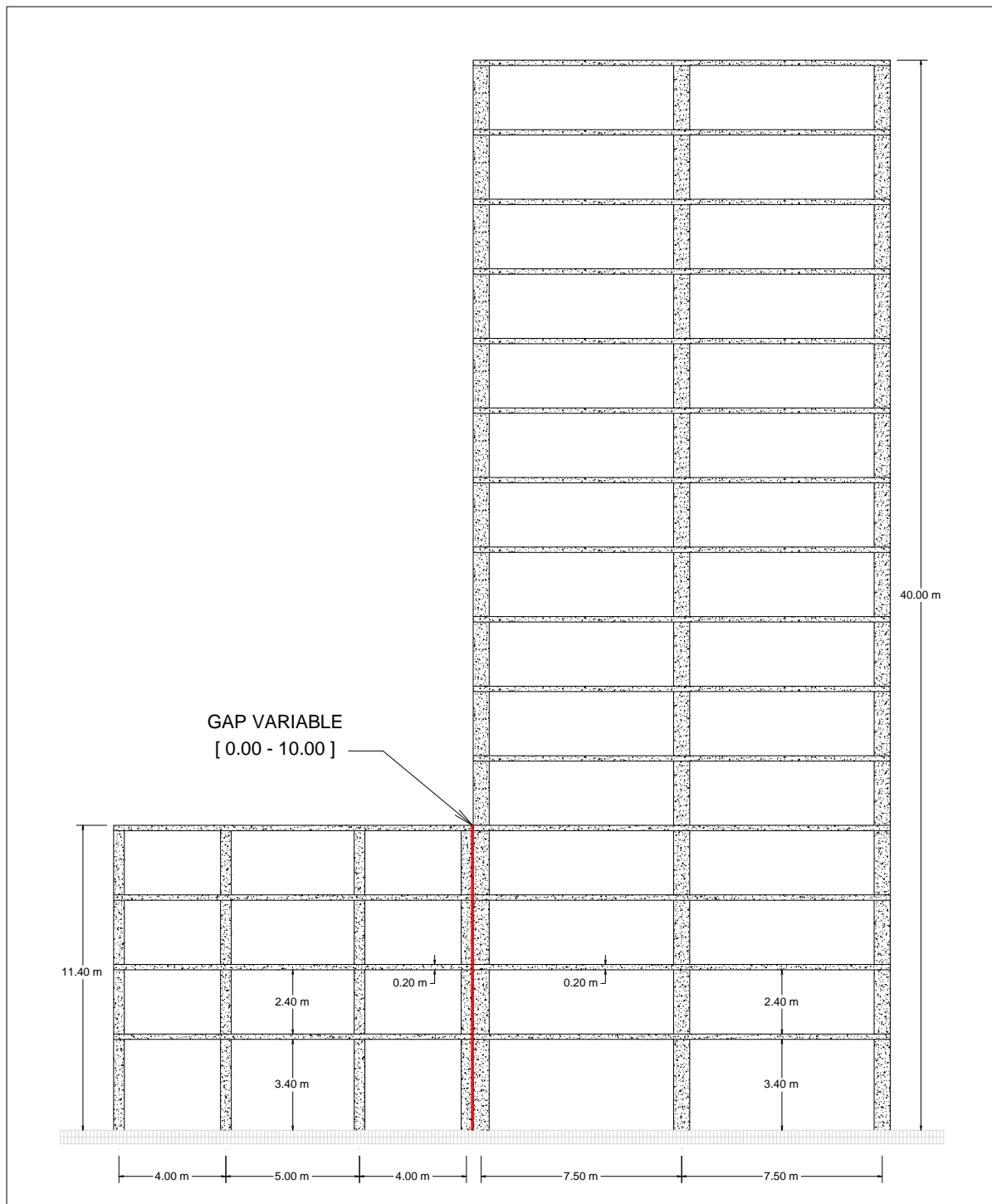


Figura 21: Elevación general de estructura 01 y 02

3.6.4. Modelamiento en ETABS

Dado que la cuantificación de la carga de impacto se llevó a cabo a través de forma analítica, la incorporación de esta magnitud de 151.11 tonf fue modelada como una carga puntual lateral en el diafragma principal en colisión. Se realizaron 03 iteraciones a ambas estructuras de concreto armado a través del software ETABS, el primero para la obtención de sus estructuraciones correspondientes frente a las solicitaciones sísmicas, siendo el resultado, estructuras idealizadas aptas, regulares y viables para el presente estudio; el segundo para la optimización de los elementos estructurales y posterior obtención de los parámetros de respuesta estructural pre colisión, y el tercero, para la incorporación de la carga de impacto y final obtención de los parámetros de respuesta estructural post colisión. Entre la **Figura 22 y 31** se expone el uso del software y el modelamiento de ambas estructuras.

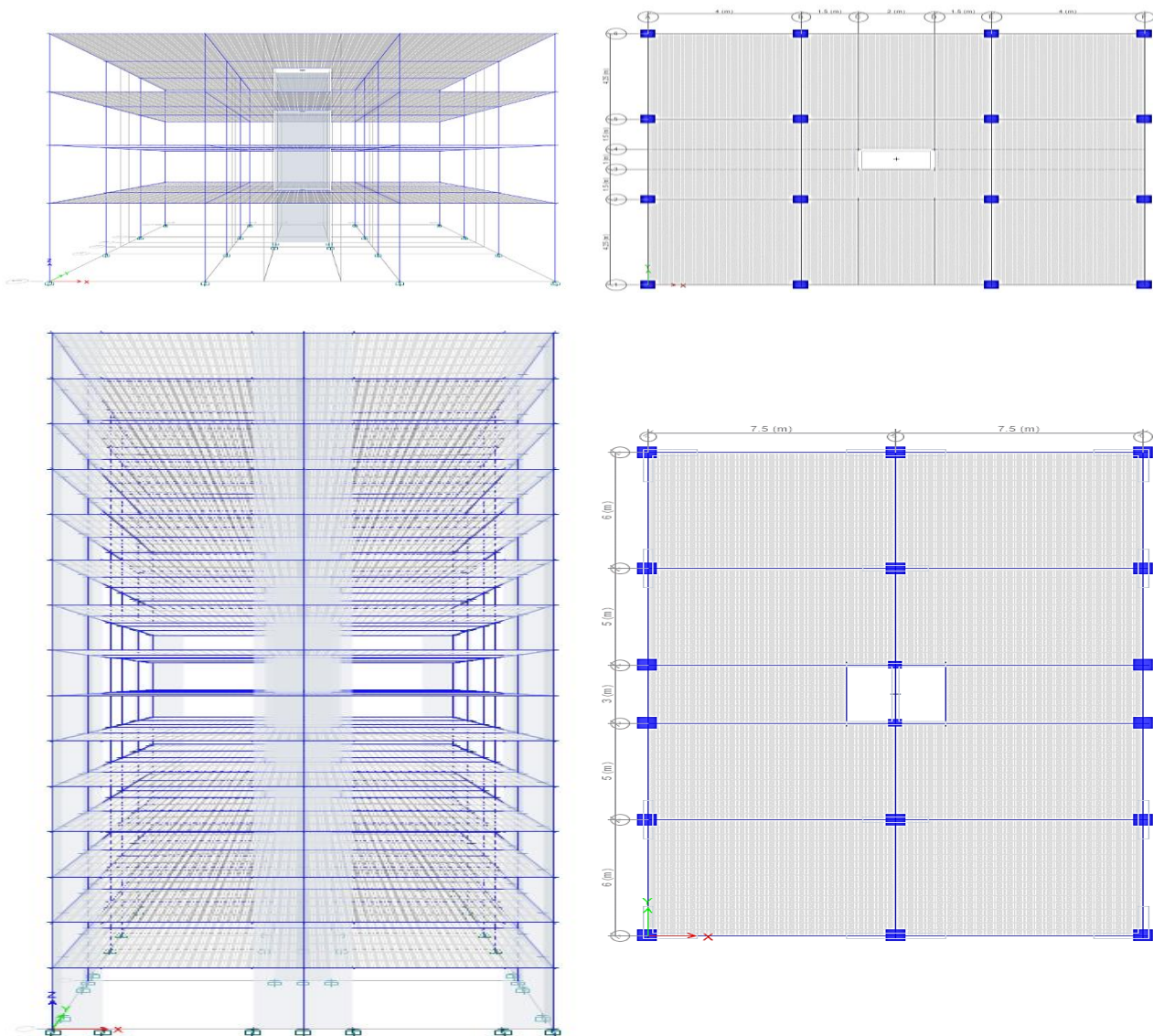


Figura 22: Modelamiento en ETABS de ST01 Y ST02



3.6.4.1. Definición de propiedades del material

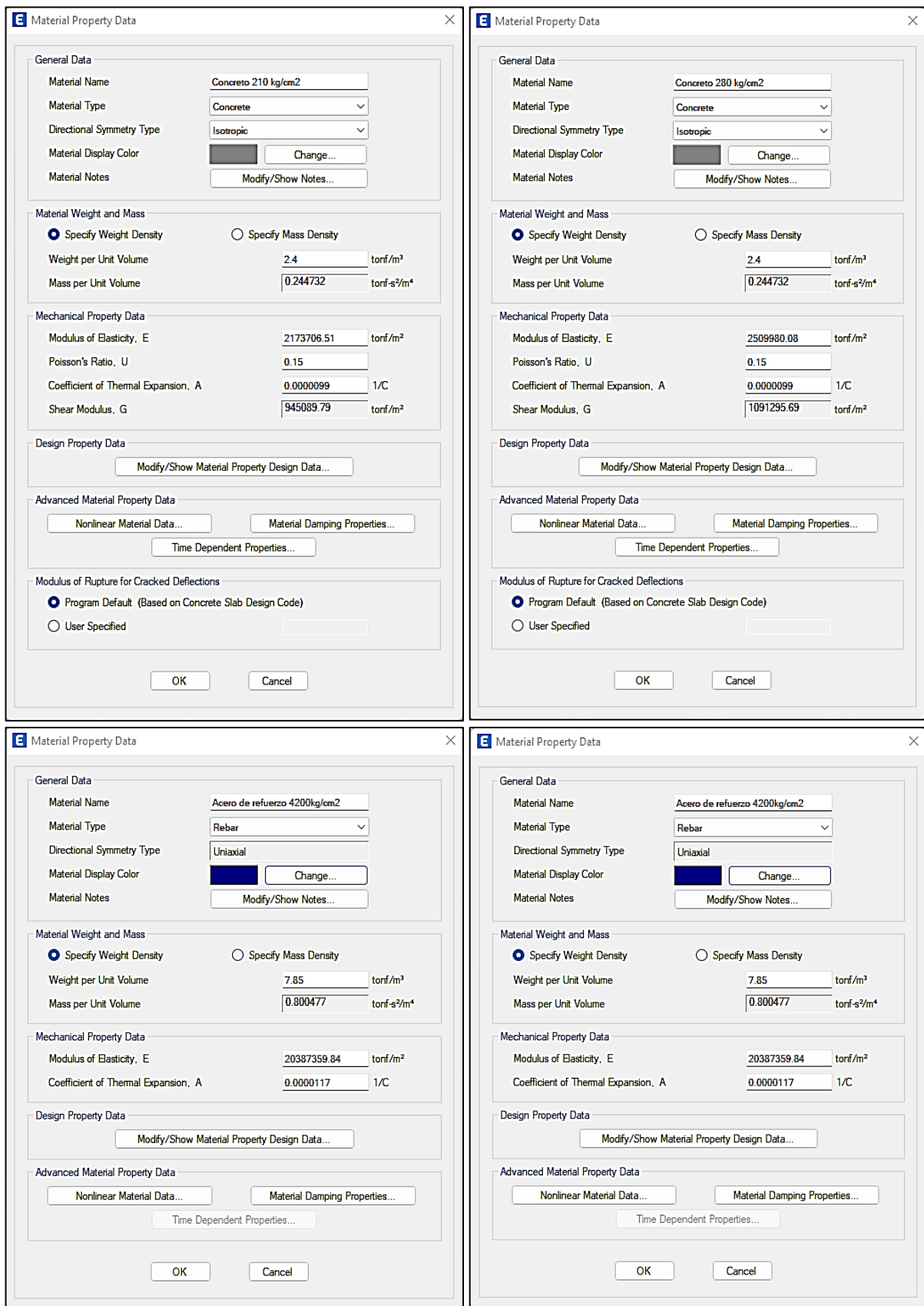


Figura 23: Propiedades de los materiales en ETABS de STR01 – STR02



3.6.4.2. Propiedades de las secciones

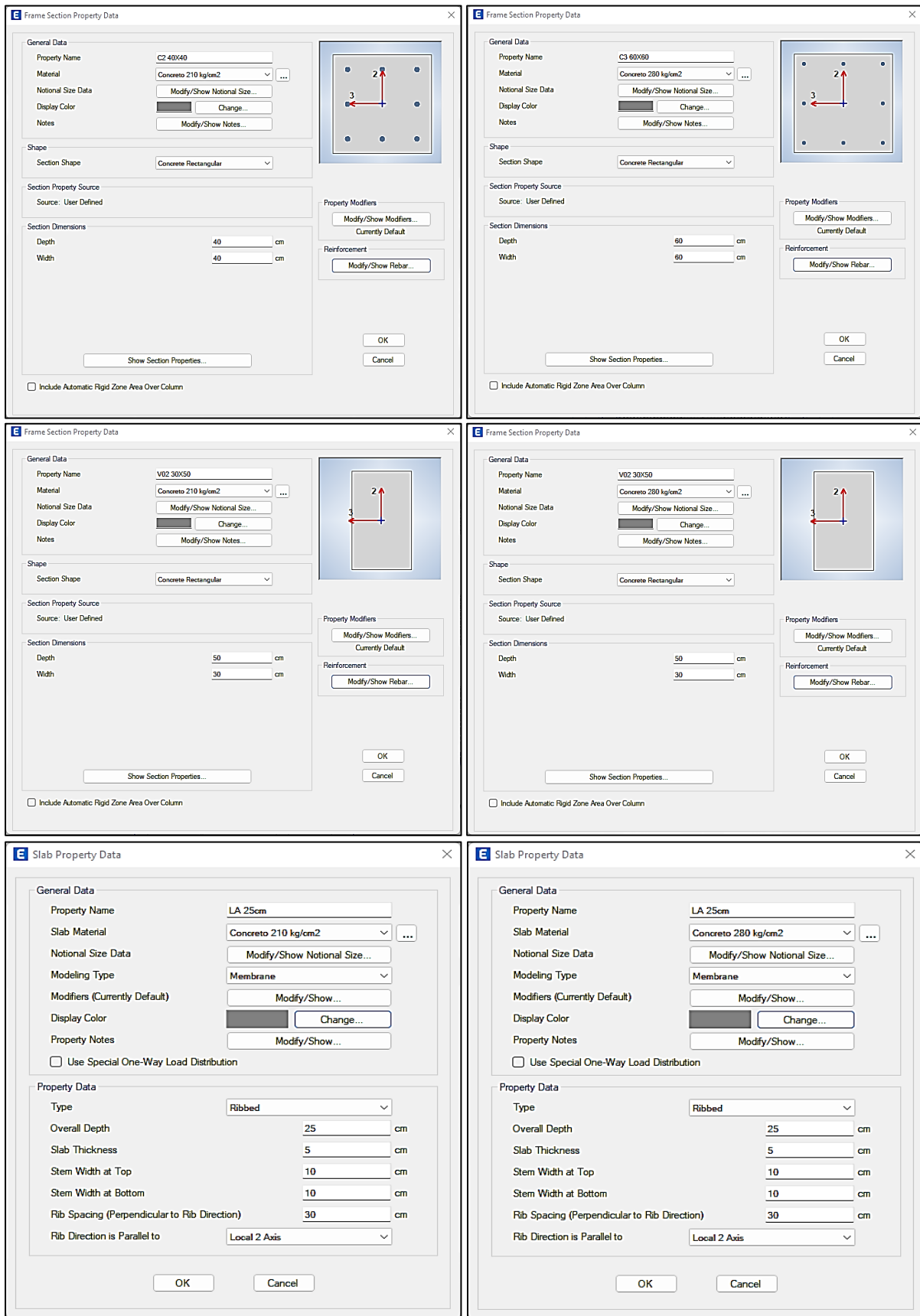


Figura 24: Secciones transversales en ETABS de STR01 – STR02

3.6.4.3. Espectros de respuesta sísmica

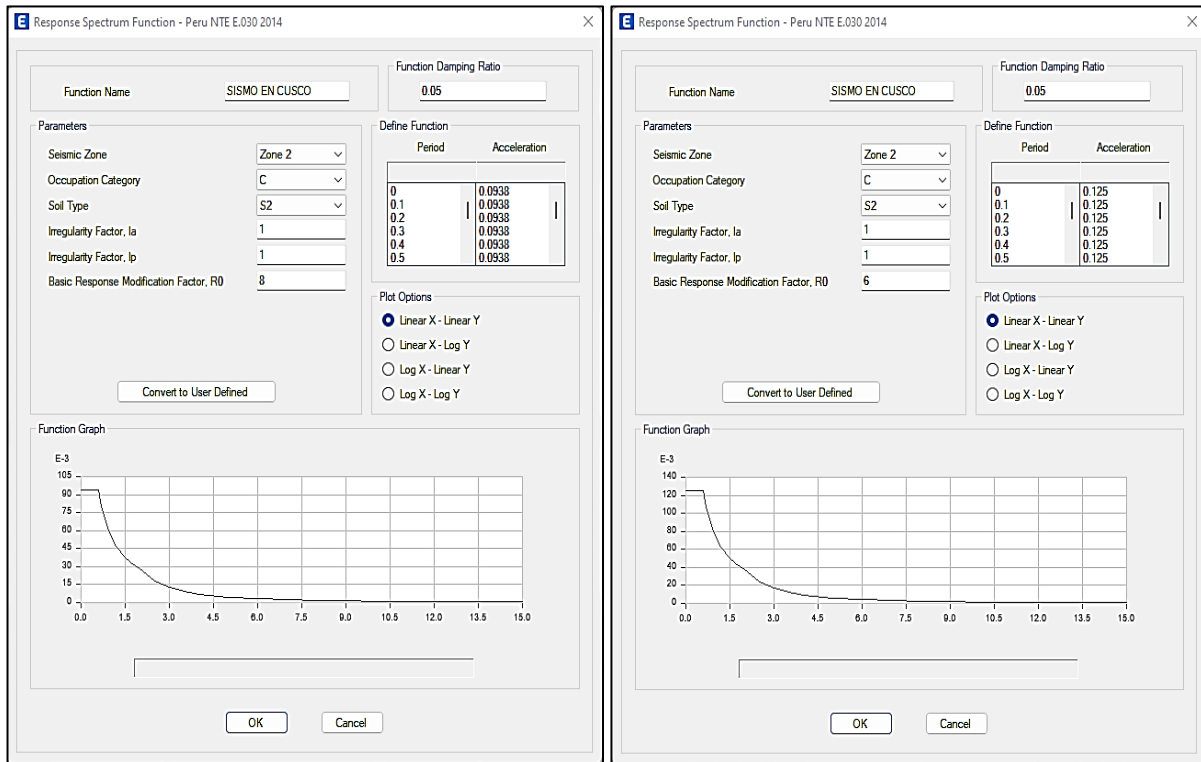


Figura 25: Espectros de respuesta sísmica en ETABS para STR01 – STR02

3.6.4.4. Casos de carga para espectros de respuesta sísmica

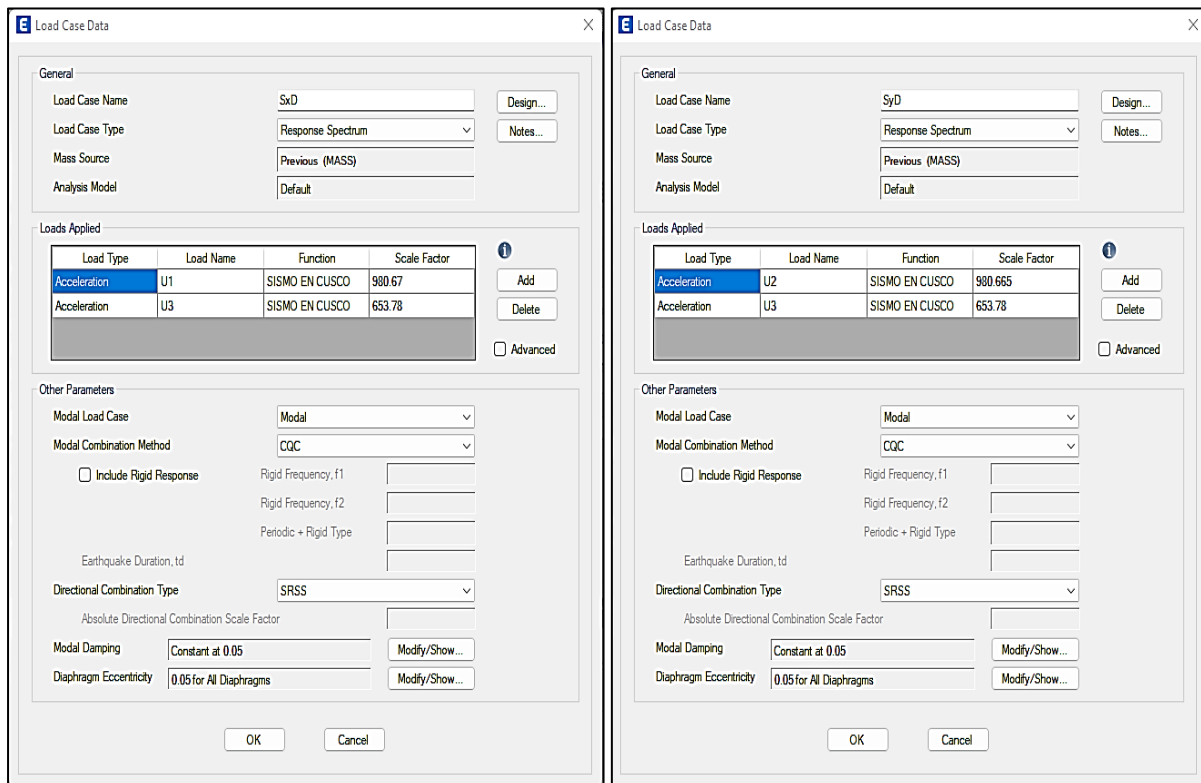


Figura 26: Casos de carga de espectros de respuesta sísmica en ETABS para SxD y SyD



3.6.4.5. Patrones de carga

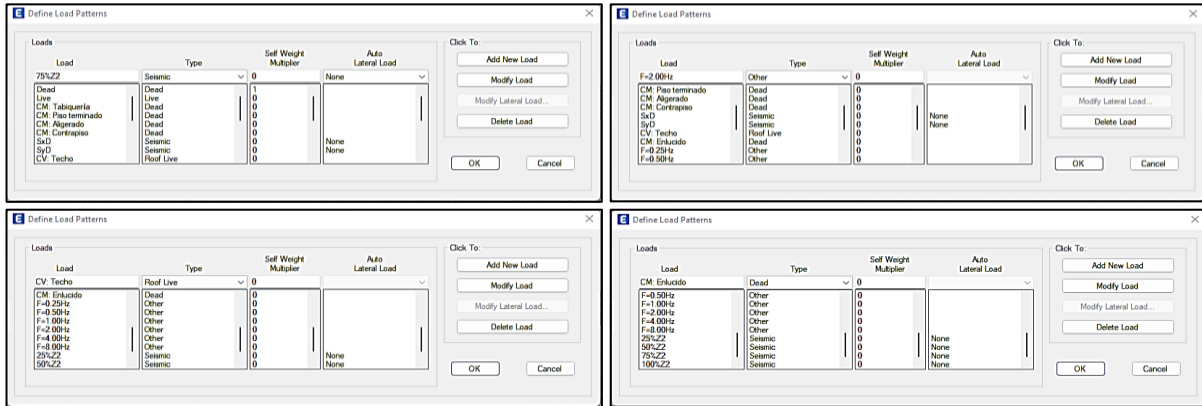


Figura 27: Patrones de carga en ETABS

3.6.4.6. Función sin en tiempo – historia entre 0.25Hz – 8.00Hz

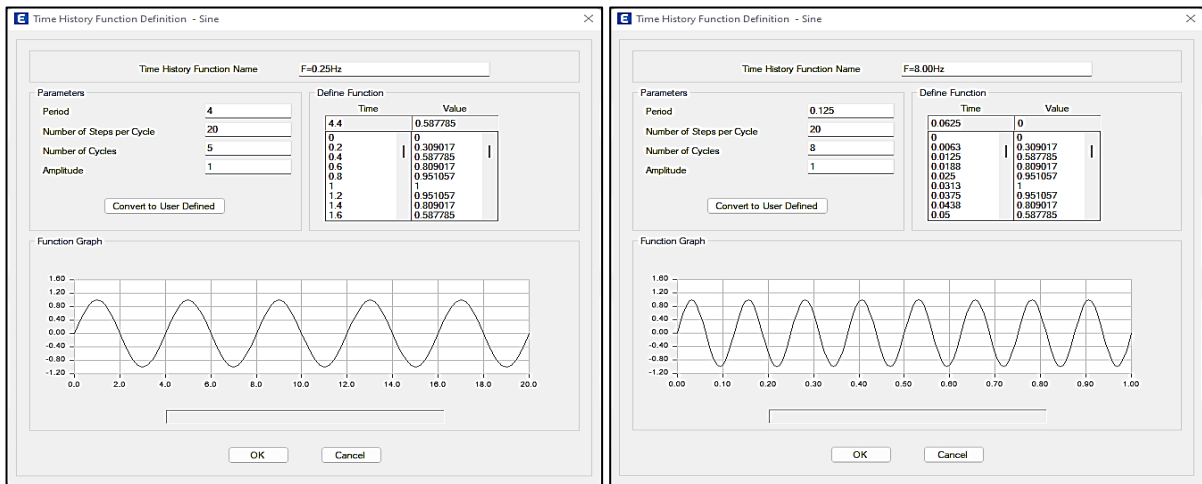


Figura 28: Función SIN en tiempo historia entre 0.25Hz – 8.00Hz

3.6.4.7. Variación del factor de aceleración sísmica entre 25% - 100% Z₂

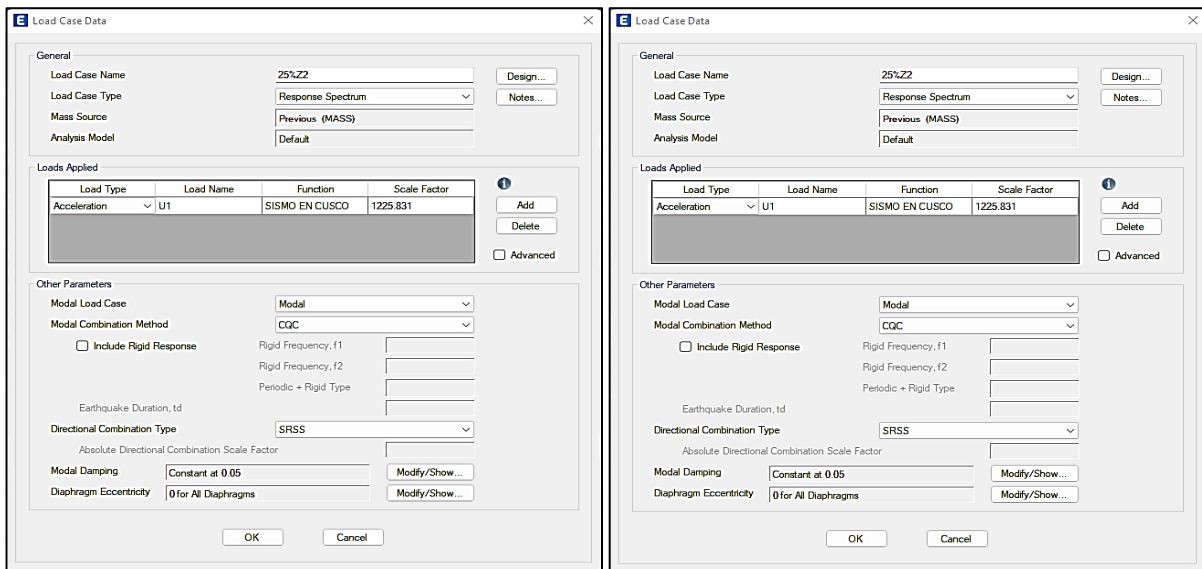


Figura 29: Variación del factor de aceleración sísmica en ETABS para STR01 y STR02

3.6.4.8. Variación de la frecuencia de excitación entre 0.25Hz – 8.00Hz

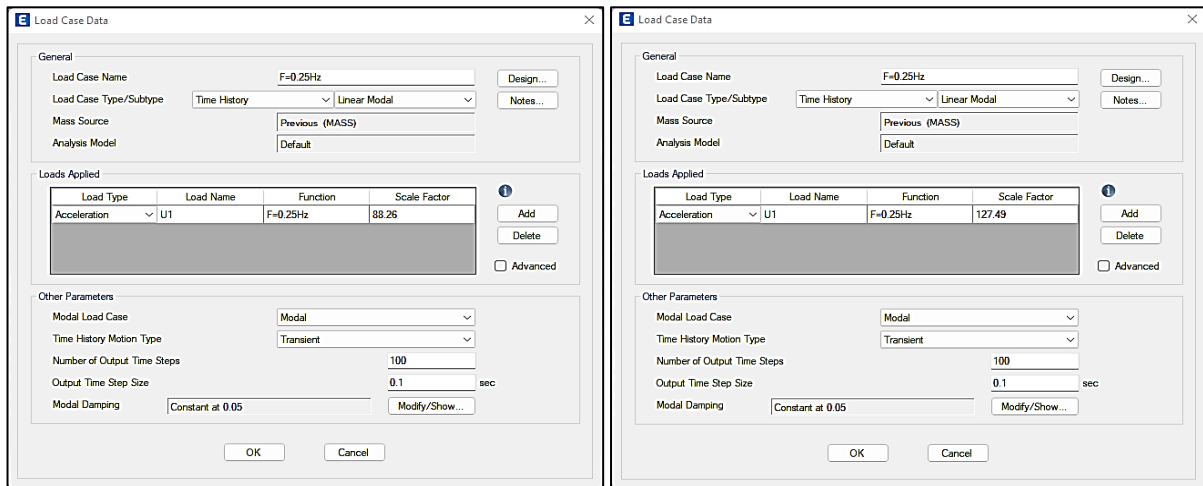


Figura 30: Variación la frecuencia de excitación en ETABS para STR01 y STR02

3.6.4.9. Modelamiento final en ETABS

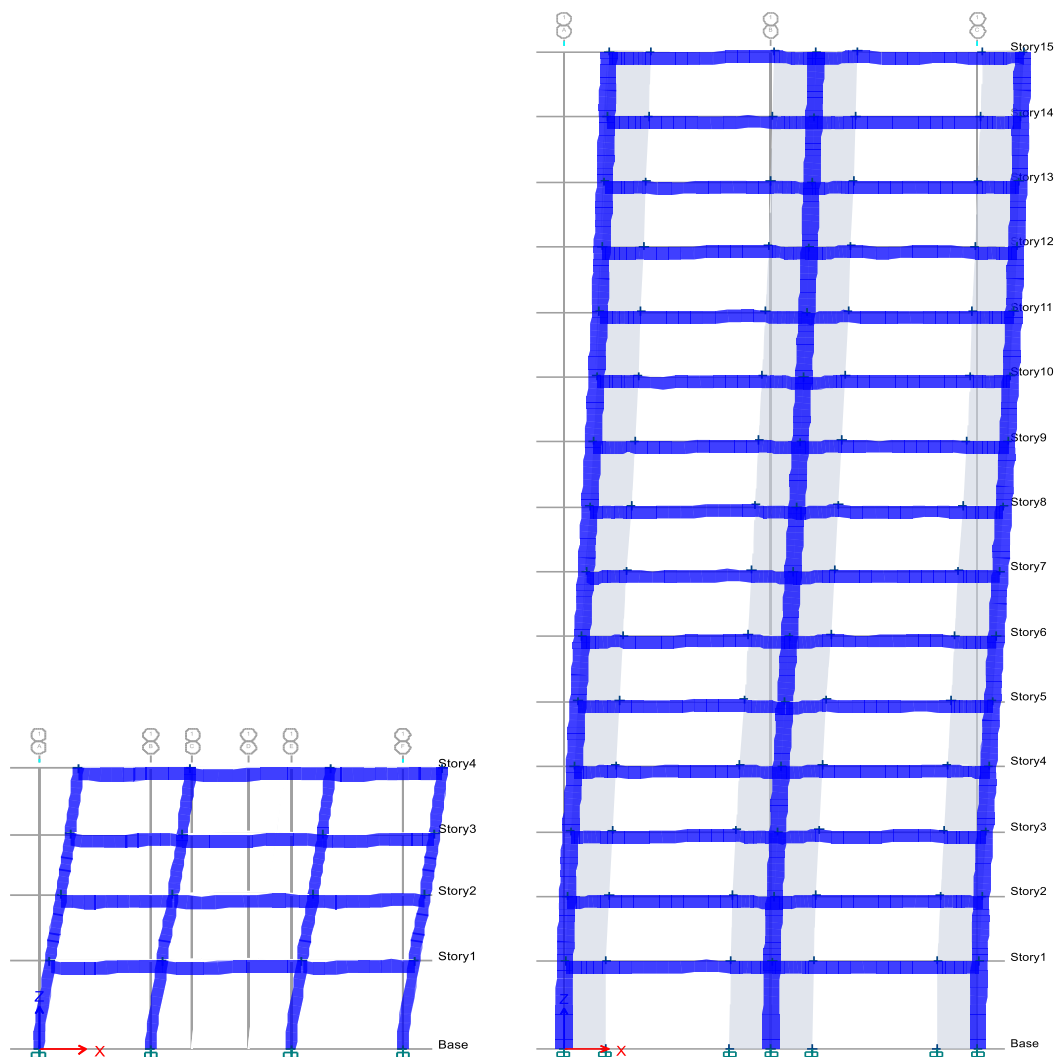


Figura 31: Modelamiento final pre colisión en ETABS para STR01 y STR02

3.6.5. Tipos de colisión entre las estructuras adyacentes de concreto armado

La colisión entre ambas estructuras se puede presentar por alcance como lo muestra la **Figura 32** y de manera frontal en la **Figura 33**, lineal, de izquierda a derecha o viceversa, y en sentidos contrarios, respectivamente.

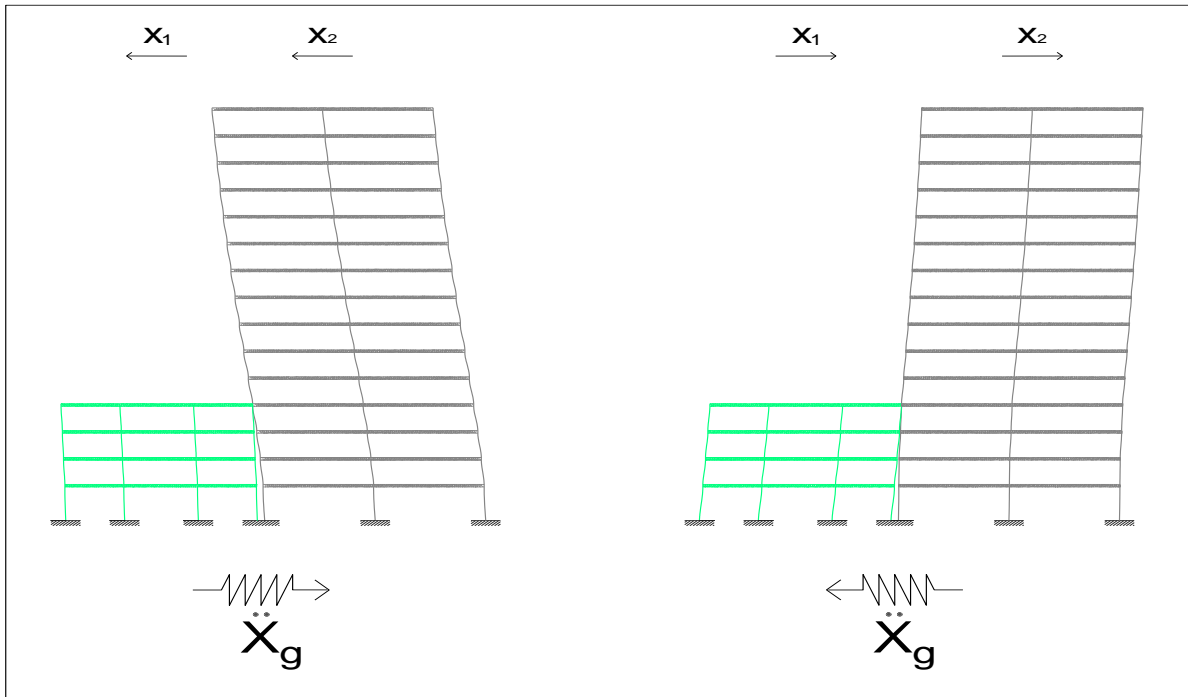


Figura 32: Caso de colisión por alcance en sentido $Sx(+,+) - Sx(+,+)$

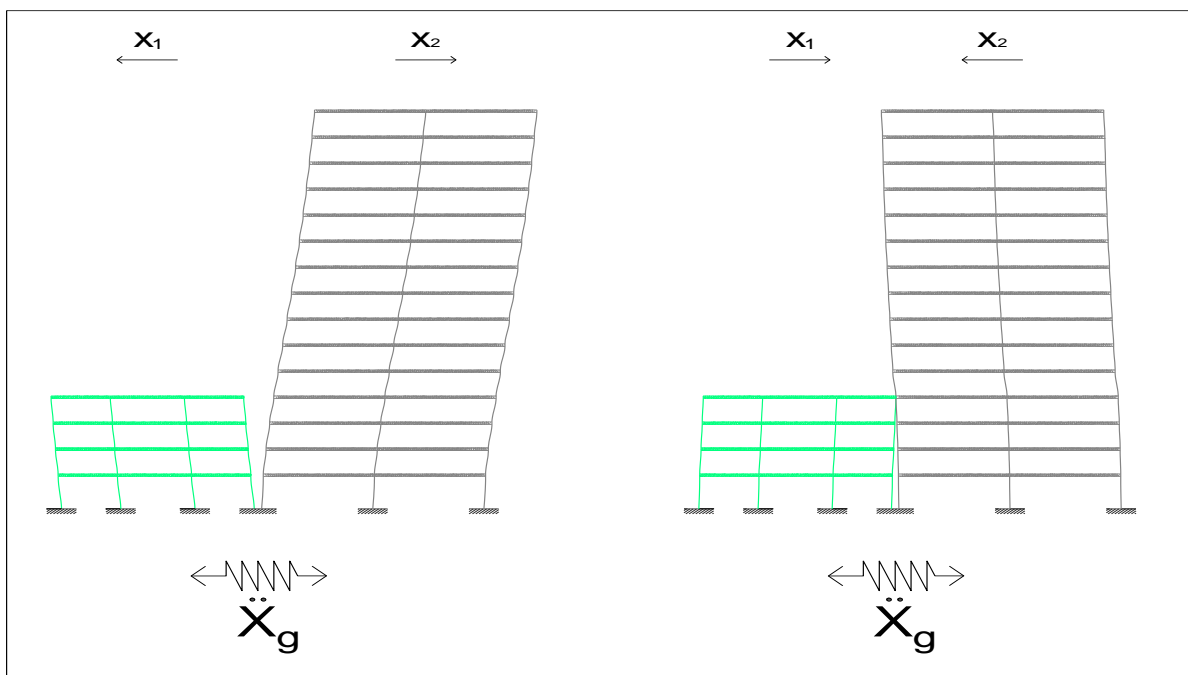


Figura 33: Caso de colisión frontal

3.6.6. Ilustración de la interacción entre estructuras de concreto armado

3.6.6.1. Gráficos ilustrativos de los parámetros del Modelo Hertz-Damp

Rigidez del resorte de impacto: Ilustración del mecanismo del resorte de impacto, considerando las propiedades de masa, densidad, Coeficiente de Poisson y el Módulo de Elasticidad, mostrados en la **Figura 34**.

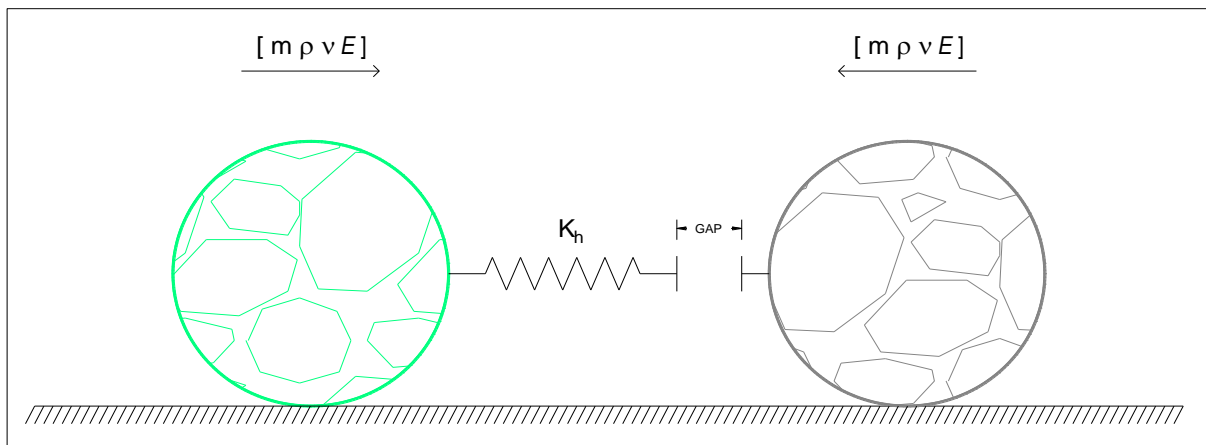


Figura 34: Idealización del resorte de impacto

Fuente: Adaptación de *Improved Damping Constant of Hertz-Damp Model for Pounding between Structures* – Dahai Zhao & Yong Liu (2016)

Desplazamiento relativo: Desplazamientos x_1 y x_2 pertinentes de manera idealizada a estructura 01 y 02 respectivamente y GAP como junta sísmica en la **Figura 35**.

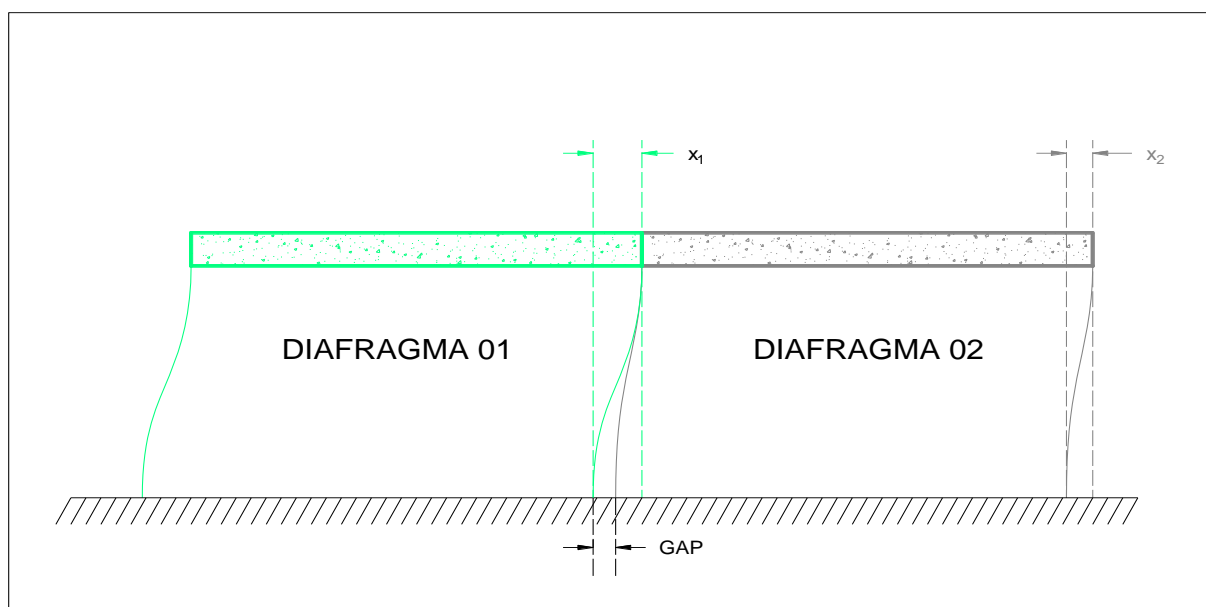


Figura 35: Desplazamiento relativo entre diafragma 1 y 2

Fuente: Adaptación de *Linear and Nonlinear Pounding of Structural Systems* – C.P. Pantelides & X. Ma (1997)

Velocidad de colisión: Ejemplificación de las velocidades relativas durante la colisión entre diafragmas, considerando los cuerpos en reposo, las velocidades iniciales, la velocidad de colisión y las velocidades finales al culminar el instante de la colisión durante el impacto entre estructuras. La **Figura 36** expone la secuencia del cambio de velocidad, de izquierda a derecha, arriba – abajo, iniciando con el reposo, la colisión y la variación de la velocidad final.

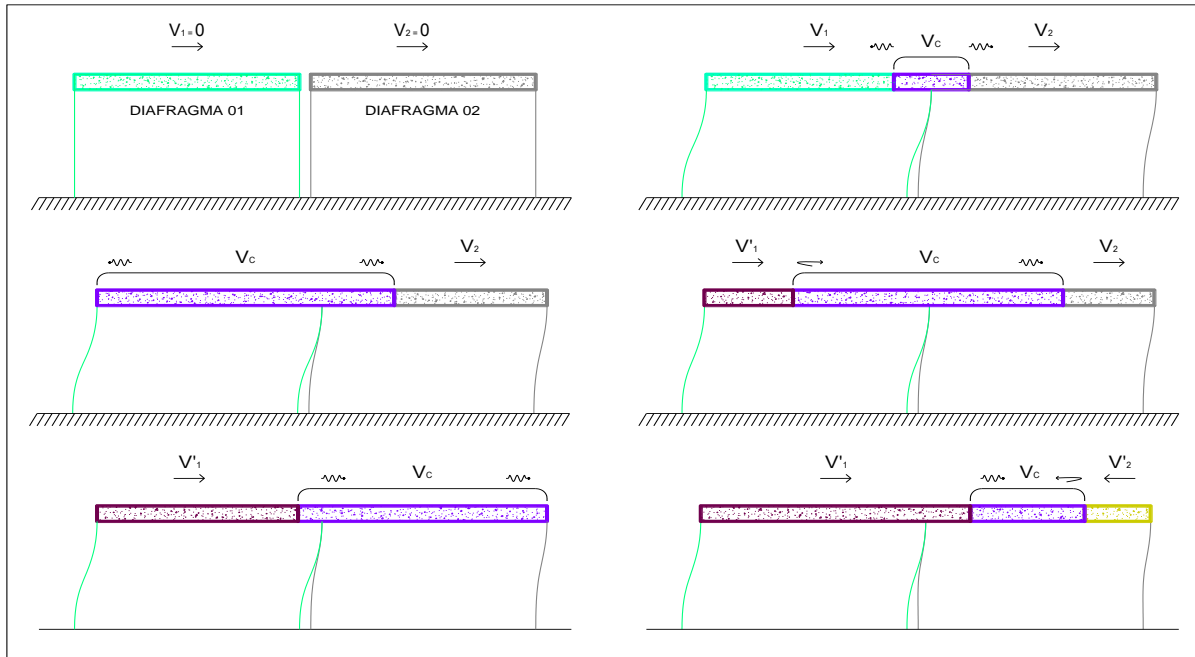


Figura 36: Velocidad de colisión entre diafragmas

Fuente: Adaptación de *An Investigation of the effects of mass distribution on pounding structures* – Gregory Cole, Rajesh Dhakal, Athol Carr & Des Bull (2011)

Modelo Hertz-Damp: Mecanismo de colisión el cual involucra la cantidad de masa de cada diafragma, los desplazamientos, las fuerzas cortantes y las velocidades de cada estructura idealizadas en sólidos en la **Figura 37**.

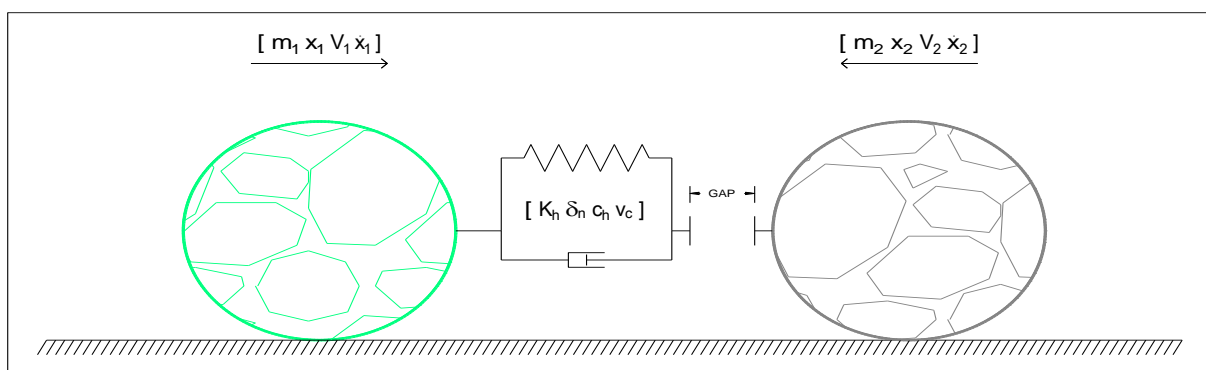


Figura 37: Idealización del Modelo Hertz-Damp

Fuente: Adaptación de *Improved Damping Constant of Hertz-Damp Model for Pounding between Structures* – Dahai Zhao & Yong Liu (2016)

3.6.6.2. Gráficos ilustrativos de las variables de los parámetros del Modelo Hertz-Damp

Coefficiente de restitución: Idealización de la transferencia de energía cinética a energía de deformación, cuantificada en los coeficientes de restitución dentro de los tres posibles casos. En la **Figura 38** se expone los tres (03) casos en los cuales se produce la transferencia de energía cinética en los cuerpos que colisionan, partiendo del reposo, iniciando con las colisiones por acercamiento en el caso 1 y 2 y el frontal como el caso 3, en todos los casos existe un intercambio de energía cinética variando en función de las velocidades y las masas.

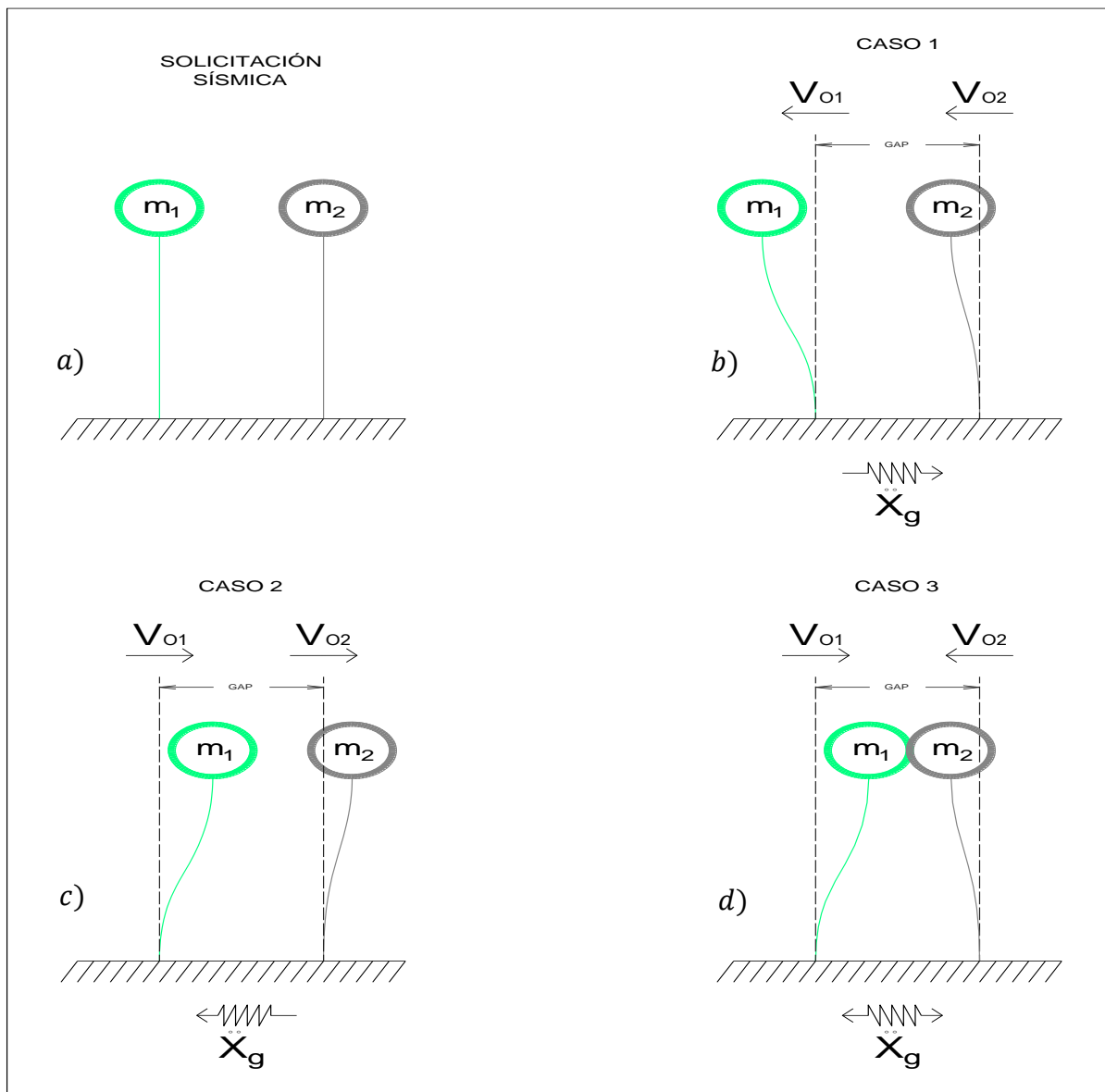


Figura 38: Casos de intercambio de energía cinética a energía de deformación

- a) Cuerpos en reposo
- b) y c) Colisión por acercamiento
- d) Colisión frontal

Periodo de colisión, velocidad de onda compresional y tipos de deformación: Ilustración de los parámetros del modelo en la **Figura 39**, correspondientes a los periodos de colisión t_1 y t_2 , que se describe como el tiempo en que la onda compresional inicia el ciclo partiendo del extremo colisionado y retornando del otro extremo del diafragma; las velocidades de ondas compresionales c_1 y c_2 y por último, los dos tipos de deformaciones en los planos colisionados.

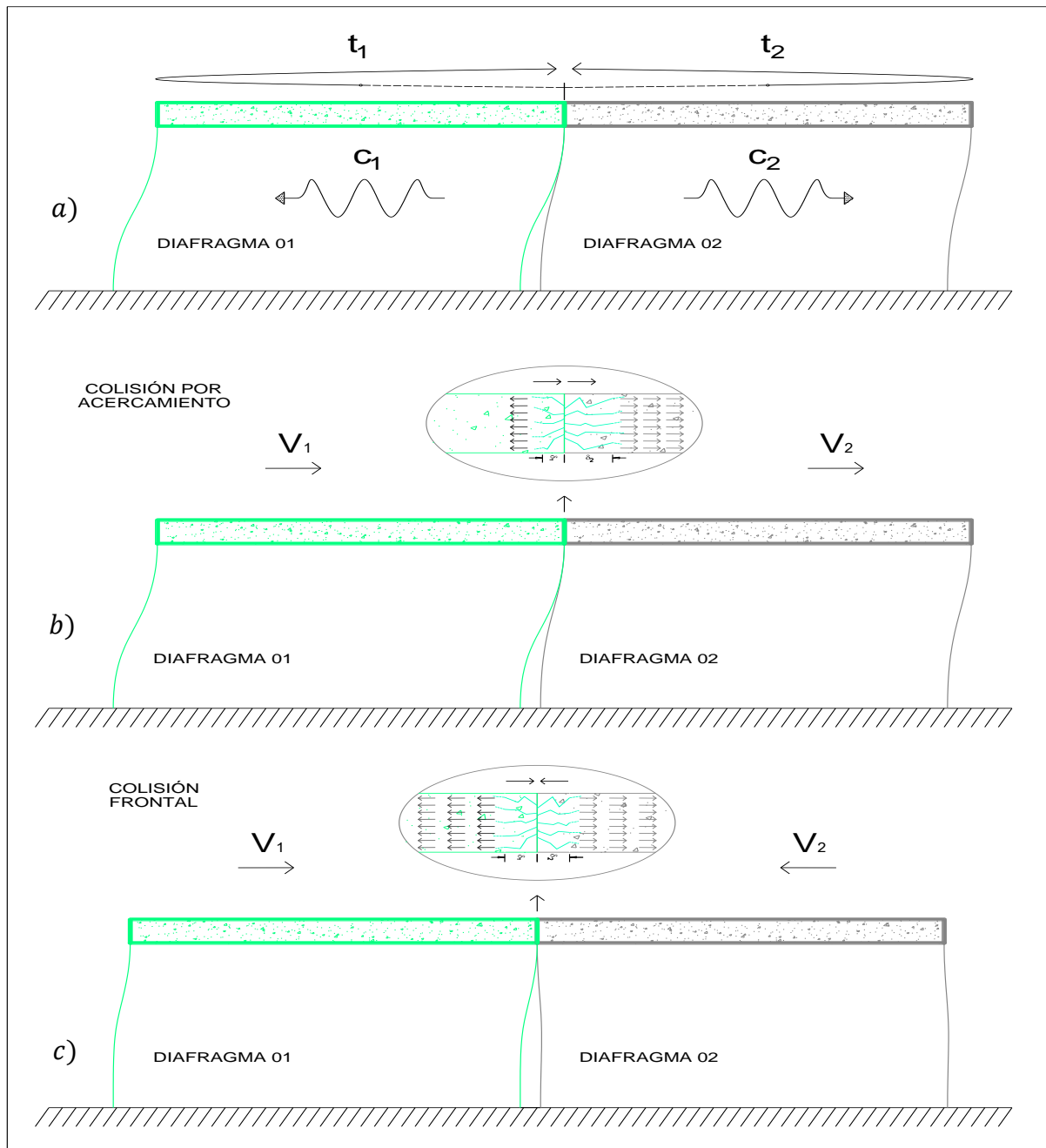


Figura 39: Periodo de colisión, velocidad de onda compresional y tipos de deformación

- a) Periodo de colisión y velocidad de onda compresional
- b) Deformación axial por colisión por acercamiento
- c) Deformación axial por colisión frontal

Fuente: Adaptación de *An investigation of the effects of mass distribution on pounding structures* – Gregory Cole, Rajesh Dhakal, Athol Carr & Des Bull (2011)



3.6.7. Respuesta estructural pre colisión

Los desplazamientos relativos de entrepiso para el sistema estructural de la estructura 01 de pórticos de concreto armado con un límite máximo de 0.007, fueron de aproximadamente, 0.0036, tal y como se evidencia en la **Figura 40**.

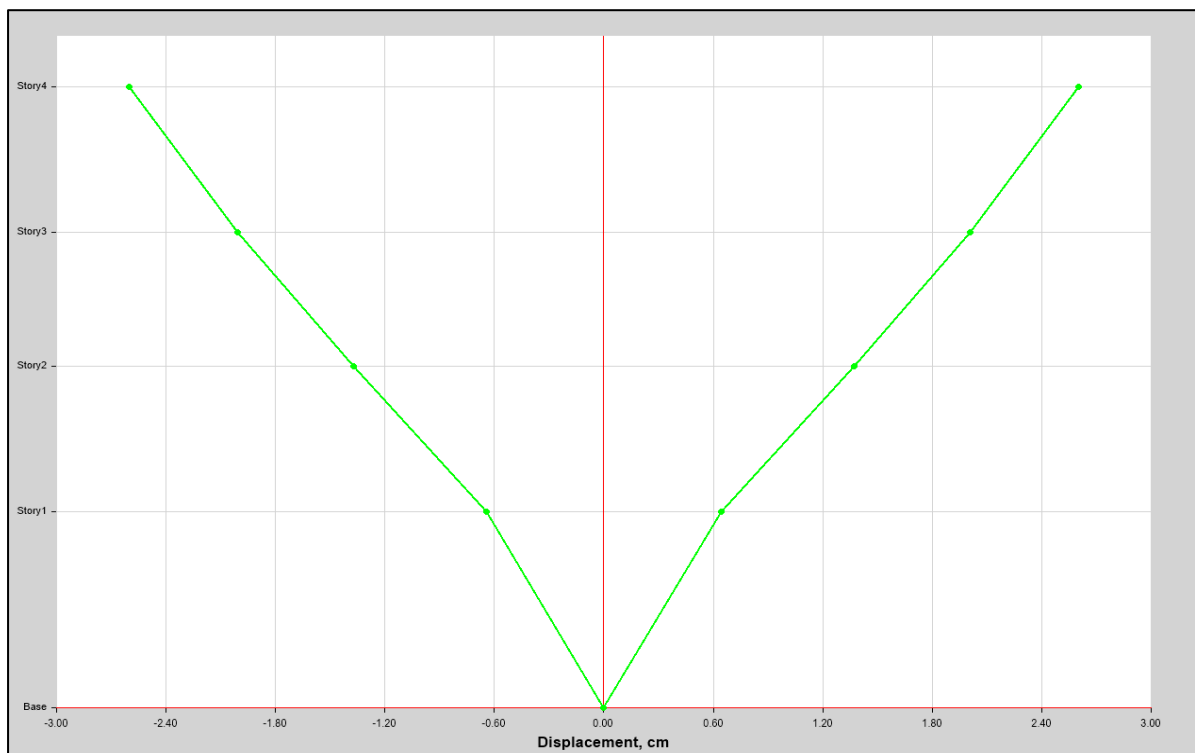
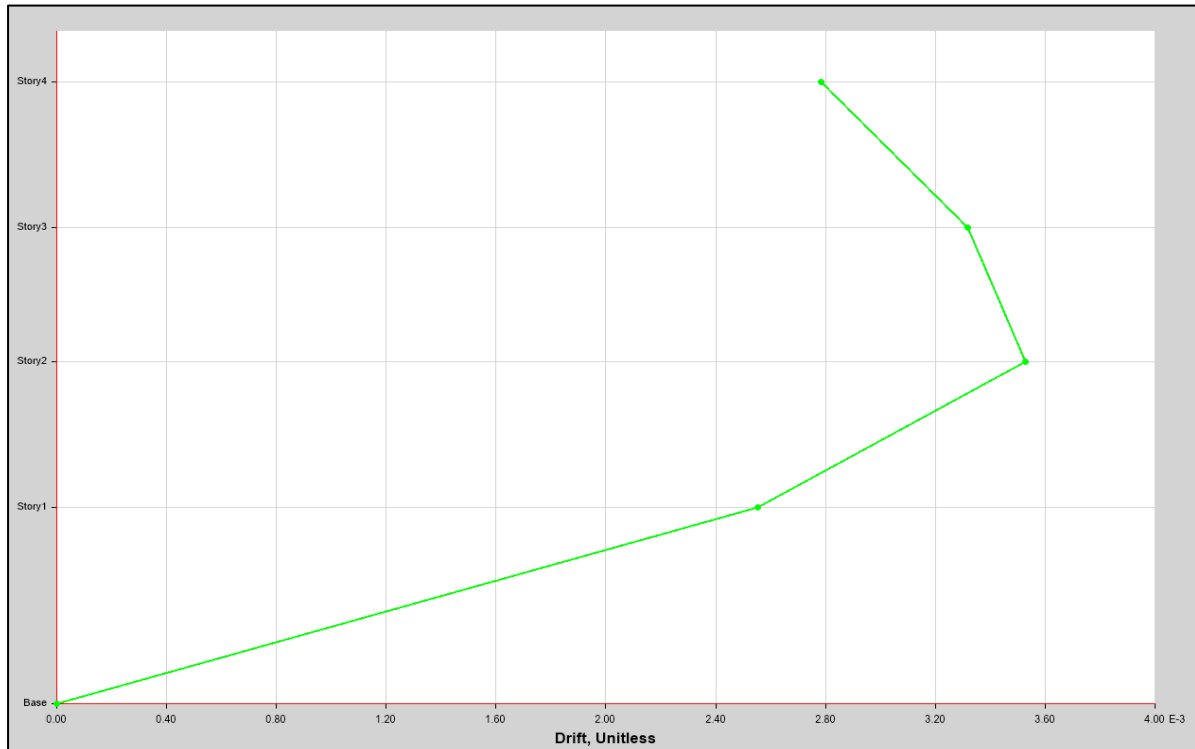


Figura 40: Derivas y desplazamientos pre colisión – estructura 01



Mientras que para la estructura 02, la de 15 niveles, tuvo como desplazamiento relativo máximo, el valor de aproximadamente 0.006 expuesto en la **Figura 41**, siendo ambos menores a lo estipulado en la NTP E030.

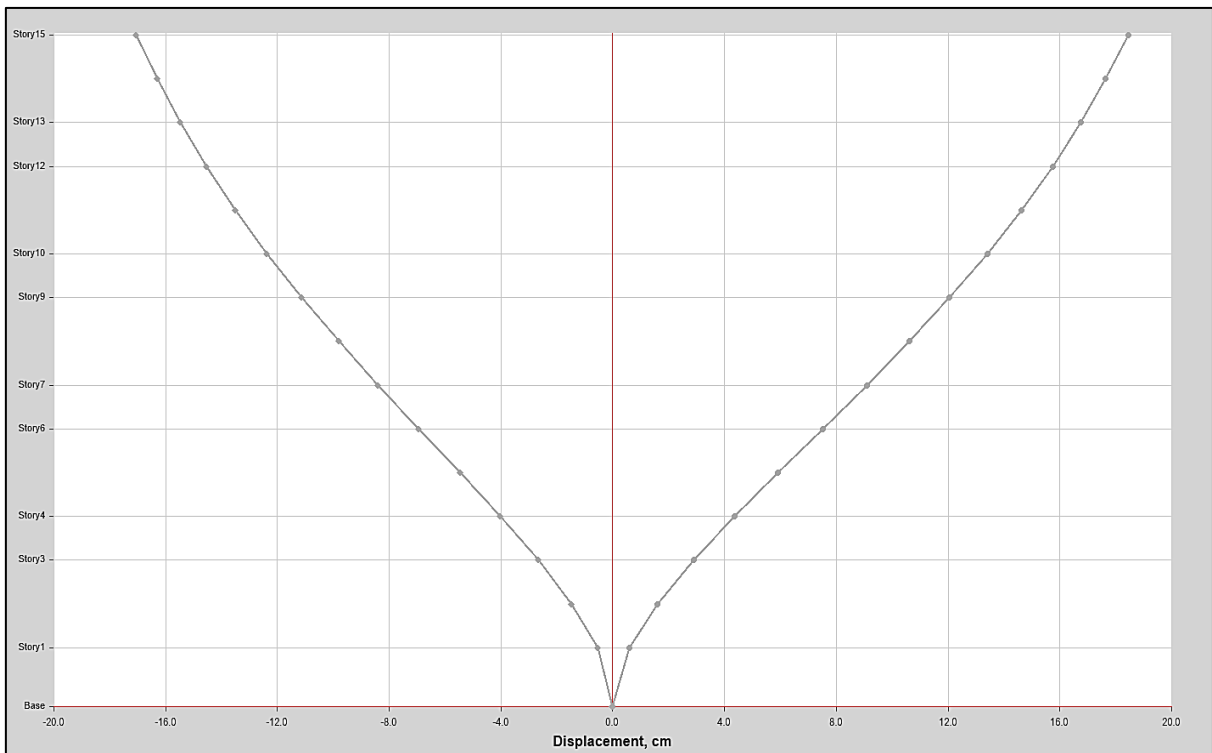
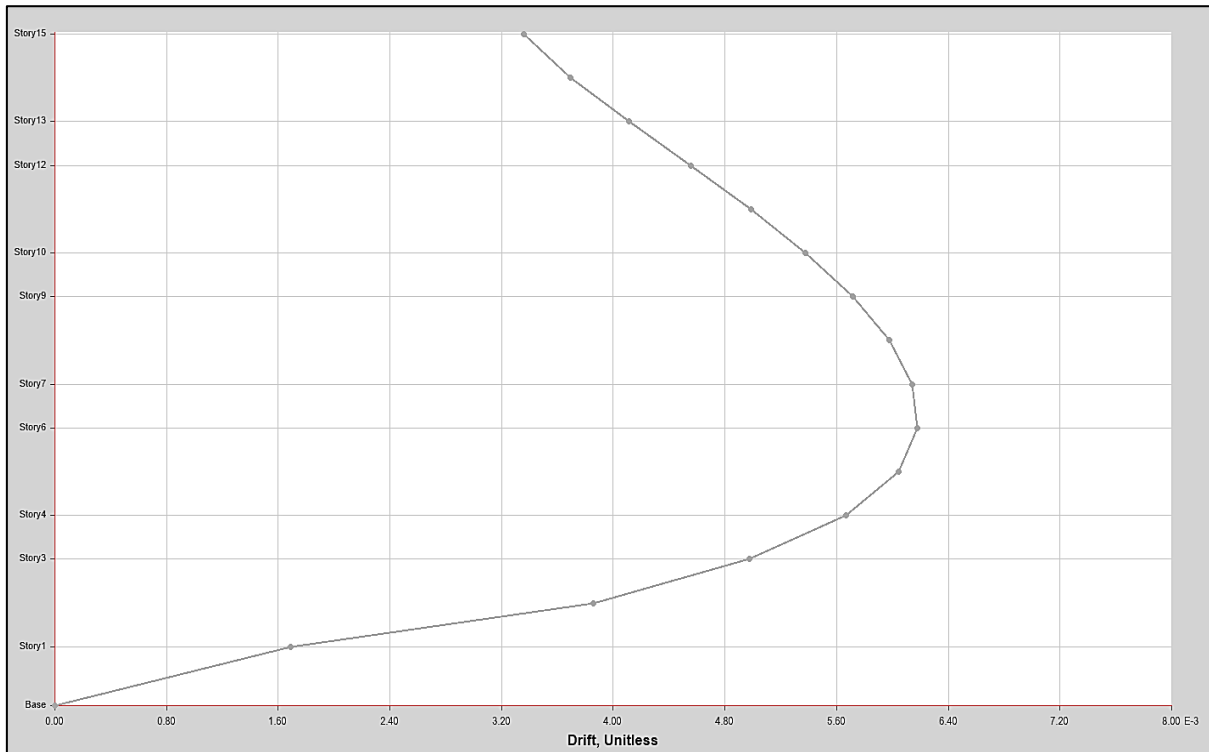


Figura 41: Derivas y desplazamientos pre colisión – estructura 02

3.6.8. Interacción estructural

Procesada la información pre colisión, se empieza con el análisis de interacción, en el cual intervienen los periodos de vibración, las masas correspondientes a cada diafragma en contacto, los desplazamientos, las velocidades y la separación de junta sísmica evaluada desde los 0cm hasta los 10cm de manera constante en la elevación de ambas estructuras.

3.6.8.1. Coeficientes de restitución en los planos colisionados

Los coeficientes de restitución obtenidos a continuación, corresponden a los estimados en el caso de la variación del factor de aceleración sísmica y al de frecuencias de excitación para la **Tabla 1 y 2**, respectivamente. Para la **variación del factor de aceleración sísmica**, los resultados generados demuestran una pérdida de energía cinética a mayor altura desde la base para cada estructura con un coeficiente de restitución invariable con respecto a la variación del factor de aceleración sísmica Z_2 , que va desde el incremento del 0% al 100%, obteniendo en así, un Z_2 que toma valores de 0.25, 0.31, 0.38, 0.44 y 0.50.

Tabla 1: Coeficientes de restitución en variación del factor de aceleración sísmica

COEFICIENTES DE RESTITUCIÓN EN VARIACIÓN DEL FACTOR DE ACCELERACIÓN SÍSMICA					
Z_2	BASE	NIVEL 01	NIVEL 02	NIVEL 03	NIVEL 04
	%	%	%	%	%
+ 0% (0.25)	0.00	0.37	0.29	0.23	0.19
+ 25% (0.31)	0.00	0.37	0.29	0.23	0.19
+ 50% (0.38)	0.00	0.37	0.29	0.23	0.19
+ 75% (0.44)	0.00	0.37	0.29	0.23	0.19
+ 100% (0.50)	0.00	0.37	0.29	0.23	0.19

Por otro lado, para la **variación de frecuencias de excitación**, los valores del coeficiente de restitución aumentan conforme mayor sea la altura con respecto a la base, induciendo una pérdida de energía de deformación y variando con respecto a las frecuencias de excitación. Nótese que existe una brecha importante para el nivel 04 entre 0.50Hz y 8.00Hz.

Tabla 2: Coeficientes de restitución en variación de frecuencias de excitación

COEFICIENTES DE RESTITUCIÓN EN VARIACIÓN DE FRECUENCIAS DE EXCITACIÓN SÍSMICAS					
Hz	BASE	NIVEL 01	NIVEL 02	NIVEL 03	NIVEL 04
	%	%	%	%	%
0.25	0.00	0.61	0.69	0.74	0.78
0.50	0.00	0.74	0.79	0.83	0.86
1.00	0.00	0.42	0.54	0.63	0.68
2.00	0.00	0.32	0.25	0.19	0.17
4.00	0.00	0.31	0.26	0.24	0.00
8.00	0.00	0.34	0.20	0.05	0.03



3.6.8.2. Parámetros del Modelo Hertz-Damp

En función de los parámetros de respuesta estructural de cada edificación de concreto armado inducida a solicitaciones sísmica, los modelos de impacto brindan la posibilidad de obtener y cuantificar las cargas de impacto, a través de un análisis de interacción descrito anteriormente y procesado en base a los parámetros de respuesta de cada estructura, elaborado esto, se obtienen los siguientes parámetros, correspondientes al Modelo Hertz-Damp, los cuales son, la rigidez del resorte de impacto k_h , el desplazamiento relativo δ , el coeficiente de amortiguamiento no lineal c_h y la velocidad de colisión v_c .

Para ambos casos analizados, se emplearon las formulaciones matemáticas descritas en el marco teórico, siendo los resultados demostrados en la **Tabla 3 y 4**.

3.6.8.2.1. Variación del factor de aceleración sísmica:

Al ser un escalamiento proporcional al factor de aceleración sísmica, los valores de desplazamiento relativo aumentan al igual que las velocidades de colisión de tal manera, mientras que la constante de amortiguamiento no lineal es reducida conforme va siendo mayor la aceleración sísmica.

Tabla 3: Parámetros del Modelo Hertz-Damp en variación del factor de aceleración sísmica

PARAMETROS DEL MODELO HERTZ-DAMP EN VARIACION DEL FACTOR DE ACELERACION SÍSMICA					
Z	Story	K_h [tonf/cm]	d [0-10cm] [cm]	C_h [tonf-s/cm]	V_c [cm/s]
0%	4	846.33	0.19	0.18	3473.88
	3	1076.71	0.05	0.27	2861.84
	2	1584.09	0.00	0.59	1832.55
	1	3481.41	0.00	2.84	791.12
25%	4	846.37	0.24	0.14	4346.75
	3	1076.74	0.07	0.21	3584.69
	2	1584.03	0.00	0.47	2296.49
	1	3481.38	0.00	2.26	995.43
50%	4	846.36	0.29	0.12	5220.12
	3	1076.79	0.08	0.18	4301.89
	2	1584.11	0.00	0.40	2753.06
	1	3481.06	0.00	1.88	1198.49
75%	4	846.35	0.34	0.10	6087.34
	3	1076.77	0.10	0.15	5019.32
	2	1584.18	0.00	0.34	3211.76
	1	3480.82	0.00	1.61	1394.78
100%	4	846.37	0.21	0.09	6956.01
	3	1076.76	0.11	0.13	5736.61
	2	1584.06	0.00	0.30	3670.71
	1	3481.88	0.00	1.41	1595.64



3.6.8.2.2. Variación de frecuencias de excitación sísmicas

En este caso, la no linealidad se hace presente evidenciando una variabilidad no proporcional de cada parámetro del modelo de impacto, siendo para 0.25Hz unos valores diferentes a su próximo 0.50Hz y a la vez, distinto del 2.00Hz. Razón por la cual, evidencia que las frecuencias de excitación albergan un data compleja de analizar si es que dentro de nuestra evaluación queremos incluirlas como parte de análisis.

Tabla 4: Parámetros del Modelo Hertz-Damp en variación de frecuencias de excitación

PARAMETROS DEL MODELO HERTZ-DAMP EN VARIACIÓN DE FRECUENCIAS DE EXCITACIÓN SÍSMICAS					
Hz	Story	K_h [tonf/cm]	d [0-10cm] [cm]	C_h [tonf-s/cm]	V_c [cm/s]
0.25	4	860.57	0.13	0.09	2679.24
	3	1032.51	0.08	0.19	1836.47
	2	1386.46	0.04	0.53	1035.01
	1	2719.02	0.01	3.25	392.17
0.50	4	853.94	0.18	0.02	9656.85
	3	1017.42	0.11	0.04	6504.87
	2	1349.07	0.06	0.10	3642.30
	1	2591.70	0.02	0.65	1361.21
1.00	4	839.25	0.05	0.04	9188.68
	3	975.57	0.03	0.07	6230.83
	2	1230.30	0.01	0.19	3494.60
	1	2141.85	0.00	1.00	1321.25
2.00	4	831.21	0.00	0.09	6921.79
	3	960.50	0.00	0.11	6039.75
	2	1277.28	0.00	0.23	3893.86
	1	2509.23	0.00	1.02	1644.46
4.00	4	870.61	0.00	0.18	3412.61
	3	1007.83	0.00	0.24	3010.20
	2	1425.80	0.00	0.54	1854.09
	1	3060.62	0.00	2.81	740.89
8.00	4	868.44	0.00	0.29	2235.71
	3	1019.07	0.00	0.43	1765.98
	2	1290.27	0.00	0.85	1098.73
	1	3046.05	0.00	4.62	436.14

A continuación, en el **Análisis General**, se expone la obtención de las cargas de impacto producto de la colisión entre estructuras adyacentes de concreto armado, siendo todos estos valores, implementados en la expresión matemática del modelo, cuantificando la carga de impacto para cada caso, para cada tipo de sollicitación, para cada separación de junta sísmica y para cada variación.

3.6.9. Análisis general

3.6.9.1. Sistema de 1SDOF

En una primera etapa o primera fase del análisis general, la estimación de las cargas de impacto en los sistemas de 1SDOF (**Figura 42**), muestran un comportamiento inicial de como las cargas de impacto son generadas para cada caso, como lo son en las masas variables considerando diferentes tipos de uso de la edificación, vivienda y comercio; para los periodos variables que siendo sistemas de 1SDOF, las variaciones solamente podrían ser en cuestiones de rigidez, y la modificación de la longitud de cada sistema proporcione la variación de los periodos y para la calidad del concreto o material predominantes, se consideró concretos de resistencias a la compresión de 210 kg/cm² y 280 kg/cm², modificando los módulos de elasticidad y los coeficientes de Poisson; para la **Tabla 5, 6 y 7**, respectivamente, tal y como se ejemplifica en la **Figura 43, 44 y 45**.

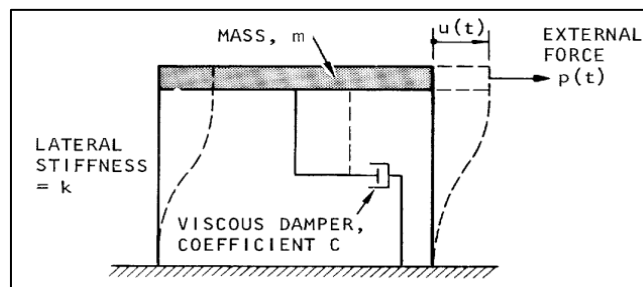


Figura 42: Representación de 1SDOF

Fuente: Anil K. Chopra (1980)

Tabla 5: Masas variables en 1SDOF

Story	MASAS VARIABLES EN DIAFRAGMAS (VIVIENDA Y COMERCIO)						
	Periodos (seg)		Masas (tonf*s2/cm)		GAP	F _i (ton-f)	
	T ₁	T ₂	M ₁	M ₂	cm	←← / →→	→←
Top	0.16	0.16	0.03	0.03	0.00	37.00	-3.87
Bottom	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

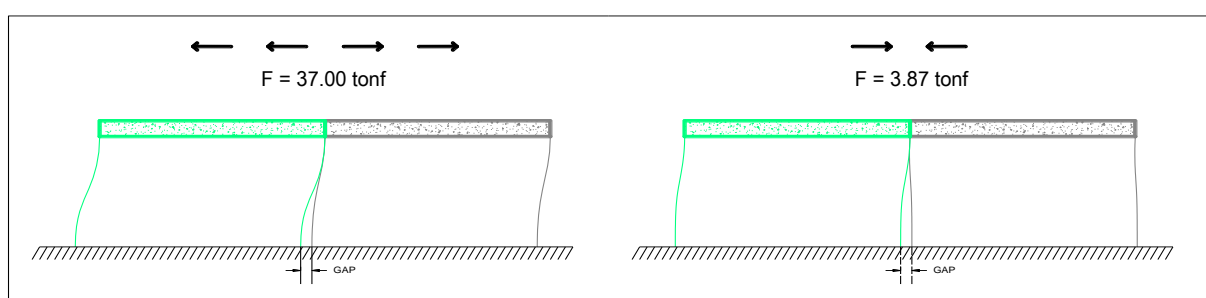


Figura 43: Masas variables en 1SDOF

Tabla 6: Periodos variables en 1SDOF

Story	PERIODOS VARIABLES EN DIAFRAGMAS (ST1=5.00 m y ST2 = 3.50 m)						
	Periodos (seg)		Masas (tonf*s2/cm)		GAP	F _i (ton-f)	
	T ₁	T ₂	M ₁	M ₂	cm	←← / →→	→←
Top	0.26	0.16	0.03	0.03	0.00	25.64	-3.96
Bottom	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

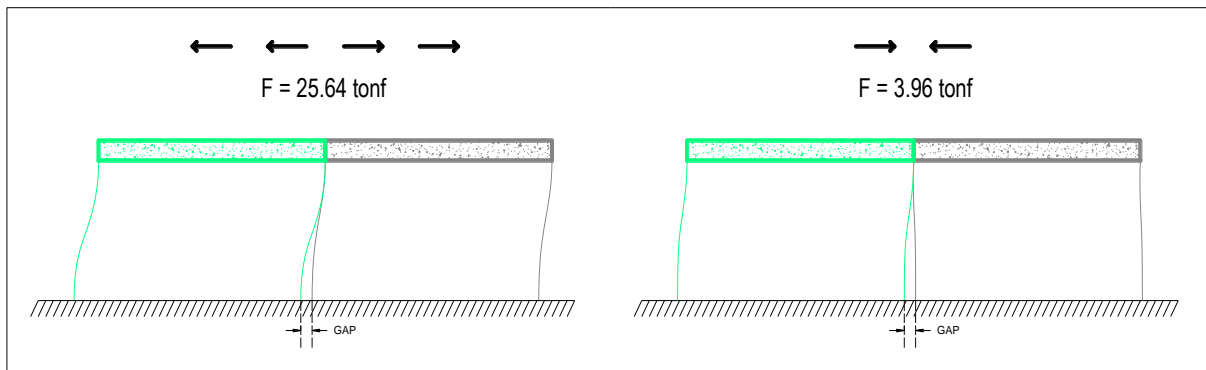


Figura 44: Periodos variables en 1SDOF

Tabla 7: Calidad del concreto variable en 1SDOF

Story	CALIDAD DEL CONCRETO EN DIAFRAGMAS (ST1= 210kg/cm ² y ST2 = 280 kg/cm ²)						
	Periodos (seg)		Masas (tonf*s2/cm)		GAP	F _i (ton-f)	
	T ₁	T ₂	M ₁	M ₂	cm	←← / →→	→←
Top	0.17	0.16	0.03	0.03	0.00	34.42	-3.83
Bottom	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

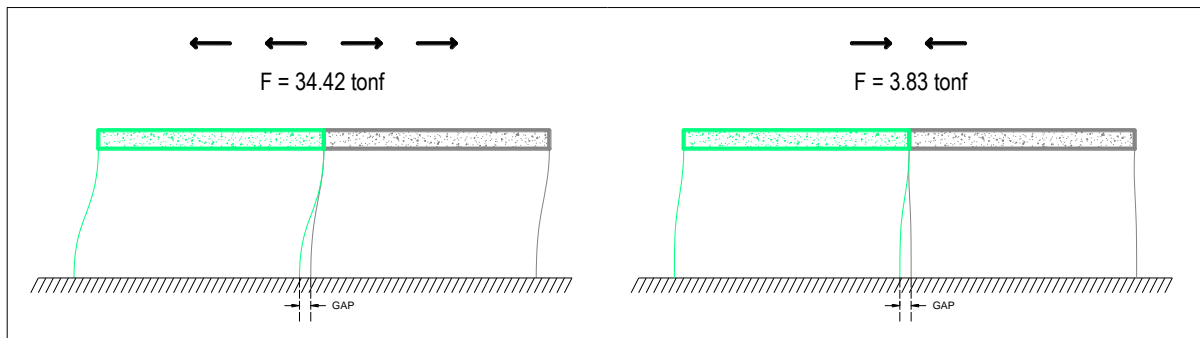


Figura 45: Calidad del concreto variable en 1SDOF



3.6.9.2. Parametrización en la colisión general

La **Tabla 8 y 9** representa la data obtenida a través de la cuantificación de cargas de impacto para las juntas de separaciones sísmicas según la NTP y la ASCE en los siguientes casos.

3.6.9.2.1. Variación del factor de aceleración sísmica

Tabla 8: Cargas de impacto en la variación del factor de aceleración sísmica – colisión general

		CARGAS DE IMPACTO (tonf)							
+Z	Nivel	- Gap = 0 cm		MÍNIMO NTP Gap = 3.00 cm		ASCE Gap = 5.53 cm		NTP Gap = 6.78 cm	
		←← / →→	→←	←← / →→	→←	←← / →→	→←	←← / →→	→←
+0%	4	-91.96	-75.51	0.00	-11.38	0.00	-2.03	0.00	0.00
+0%	3	-66.15	-56.50	0.00	-4.28	0.00	0.00	0.00	0.00
+0%	2	-19.16	-36.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
+0%	1	118.06	-17.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
+25%	4	-97.69	-94.67	0.00	-20.73	0.00	-6.12	0.00	-2.24
+25%	3	-69.17	-70.89	0.00	-9.69	0.00	-1.04	0.00	0.00
+25%	2	-24.23	-45.93	0.00	-1.81	0.00	0.00	0.00	0.00
+25%	1	102.60	-22.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
+50%	4	-101.89	-113.69	0.00	-31.75	0.00	-12.48	0.00	-5.56
+50%	3	-69.66	-85.13	0.00	-16.55	0.00	-3.95	0.00	-0.32
+50%	2	-24.21	-55.17	0.00	-4.70	0.00	0.00	0.00	0.00
+50%	1	102.16	-26.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
+75%	4	-106.63	-132.55	0.00	-43.43	0.00	-19.46	0.00	-11.62
+75%	3	-70.29	-99.24	0.00	-23.93	0.00	-7.23	0.00	-3.06
+75%	2	-24.17	-64.29	0.00	-7.91	0.00	0.00	0.00	0.00
+75%	1	102.16	-31.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
+100%	4	-111.61	-151.52	0.00	-55.60	0.00	-27.89	0.00	-18.23
+100%	3	-70.93	-113.46	0.00	-31.72	0.00	-11.77	0.00	-6.12
+100%	2	-24.27	-73.52	0.00	-11.36	0.00	-1.00	0.00	0.00
+100%	1	102.44	-35.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

La **Figura 46** demuestra el comportamiento de las cargas de impacto en la elevación de los planos que entran en colisión por aproximación y de manera frontal, de izquierda a derecha, para cada GAP propuesto según la NTP y ASCE en la variación de la aceleración sísmica.

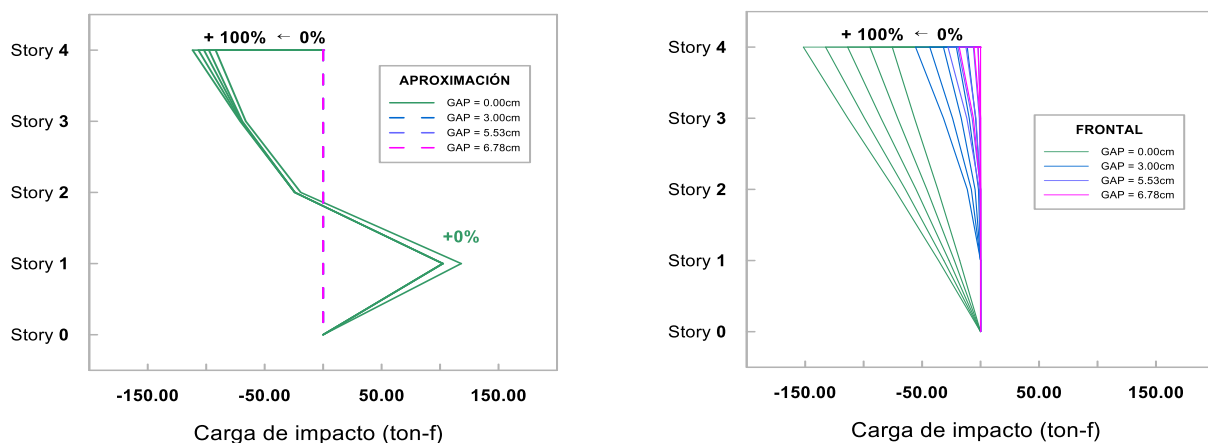


Figura 46: Cargas de impacto en colisión general con ΔZ_2 vs Story



3.6.9.2.2. Variación de las frecuencias de excitación

Tabla 9: Cargas de impacto en la variación de frecuencias de excitación – colisión general

		CARGAS DE IMPACTO (ton-f)							
Hz	Nivel	- Gap = 0 cm		MÍNIMO NTP Gap = 3.00 cm		ASCE Gap = 5.53 cm		NTP Gap = 6.78 cm	
		←← / →→	→←	←← / →→	→←	←← / →→	→←	←← / →→	→←
0.25	4	-151.40	-43.37	0.00	-0.89	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	3	-186.88	-28.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	2	-251.03	-16.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	1	-496.33	-6.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	4	-78.96	-150.78	-40.90	-24.82	0.00	-3.71	0.00	0.00
0.50	3	-90.26	-97.43	-44.93	-6.63	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	2	-125.25	-54.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.50	1	-266.33	-22.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	4	-59.57	-135.33	-33.51	-7.93	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	3	-73.39	-85.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	2	-97.20	-46.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	1	-167.65	-18.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	4	-4.23	-133.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	3	0.77	-96.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	2	11.24	-58.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2.00	1	40.51	-26.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	4	18.46	-70.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	3	24.13	-51.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	2	40.41	-31.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4.00	1	98.65	-14.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.00	4	-21.66	-41.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.00	3	-18.37	-29.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.00	2	-8.16	-17.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8.00	1	39.19	-8.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

La **Figura 47** demuestra el comportamiento de las cargas de impacto en la elevación de los planos que entran en colisión por aproximación y de manera frontal, de izquierda a derecha, para cada GAP propuesto según la NTP y ASCE en la variación de la frecuencia de excitación.

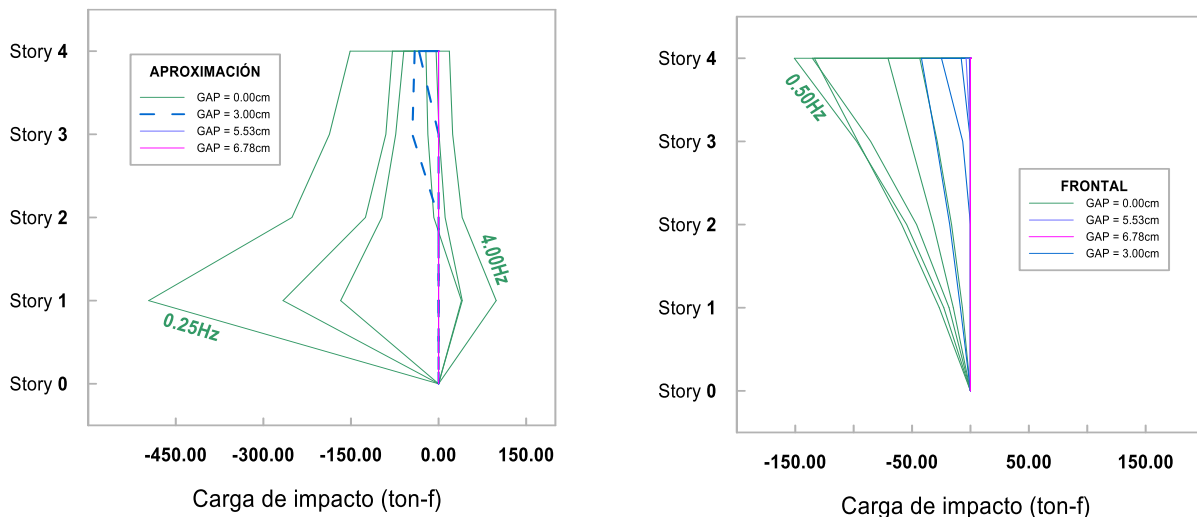


Figura 47: Cargas de impacto en colisión general con Δ Hz vs Story



3.6.9.3. Parametrización en el plano principal en colisión

3.6.9.3.1. Variación del factor de aceleración sísmica

Tabla 10: Cargas de impacto en la variación del factor de aceleración sísmica – colisión en plano principal

CARGA DE IMPACTO EN DIAFRAGMA 04 (ton-f)										
GAP [cm]	ZUCS / R		+25% Z_2		+50% Z_2		+75% Z_2		+100% Z_2	
	←← / →→	→←	←← / →→	→←	←← / →→	→←	←← / →→	→←	←← / →→	→←
0.00	-91.96	-75.51	-97.69	-94.67	-101.89	-113.69	-106.63	-132.55	-111.61	-151.52
0.25	-85.94	-62.81	-91.60	-81.51	-95.80	-100.29	-100.45	-119.00	-105.31	-137.84
0.50	-80.82	-52.71	-86.31	-70.65	-90.43	-88.92	-94.93	-107.27	-99.62	-125.80
0.75	-76.47	-44.37	-81.72	-61.44	-85.70	-79.08	-90.01	-96.95	-94.49	-115.07
1.00	-72.79	-37.29	-77.77	-53.46	-81.55	-70.42	-85.63	-87.74	-89.87	-105.40
1.25	-69.74	-31.65	-74.38	-46.45	-77.92	-62.70	-81.74	-79.45	-85.73	-96.62
1.50	0.00	-27.88	-71.53	-40.49	-74.78	-55.75	-78.32	-71.92	-82.03	-88.58
1.75	0.00	-24.43	0.00	-36.60	-72.11	-49.44	-75.32	-65.02	-78.74	-81.17
2.00	0.00	-21.26	0.00	-32.98	-69.92	-45.44	-72.75	-58.68	-75.84	-74.31
2.25	0.00	-18.34	0.00	-29.60	0.00	-41.71	-70.60	-54.30	-73.32	-67.93
2.50	0.00	-15.64	0.00	-26.45	0.00	-38.20	0.00	-50.49	-71.19	-63.18
2.75	0.00	-13.14	0.00	-23.50	0.00	-34.89	0.00	-46.87	-69.52	-59.30
3.00	0.00	-11.38	0.00	-20.73	0.00	-31.75	0.00	-43.43	0.00	-55.60
3.25	0.00	-9.95	0.00	-18.12	0.00	-28.79	0.00	-40.16	0.00	-52.07
3.50	0.00	-8.60	0.00	-15.66	0.00	-25.97	0.00	-37.04	0.00	-48.68
3.75	0.00	-7.32	0.00	-14.15	0.00	-23.30	0.00	-34.06	0.00	-45.44
4.00	0.00	-6.11	0.00	-12.70	0.00	-20.75	0.00	-31.21	0.00	-42.33
4.25	0.00	-4.96	0.00	-11.32	0.00	-18.49	0.00	-28.49	0.00	-39.34
4.50	0.00	-3.87	0.00	-10.01	0.00	-16.98	0.00	-25.88	0.00	-36.47
4.75	0.00	-3.07	0.00	-8.75	0.00	-15.54	0.00	-23.38	0.00	-33.71
5.00	0.00	-2.59	0.00	-7.54	0.00	-14.14	0.00	-21.31	0.00	-31.05
5.25	0.00	-2.13	0.00	-6.39	0.00	-12.80	0.00	-19.81	0.00	-28.49
5.53	0.00	-2.03	0.00	-6.12	0.00	-12.48	0.00	-19.46	0.00	-27.89
5.50	0.00	-1.70	0.00	-5.28	0.00	-11.51	0.00	-18.36	0.00	-26.02
5.75	0.00	-1.28	0.00	-4.21	0.00	-10.26	0.00	-16.95	0.00	-24.14
6.00	0.00	-0.87	0.00	-3.67	0.00	-9.06	0.00	-15.59	0.00	-22.64
6.50	0.00	-0.11	0.00	-2.74	0.00	-6.78	0.00	-13.00	0.00	-19.77
6.78	0.00	0.00	0.00	-2.24	0.00	-5.56	0.00	-11.62	0.00	-18.23
7.00	0.00	0.00	0.00	-1.87	0.00	-4.80	0.00	-10.56	0.00	-17.06
8.00	0.00	0.00	0.00	-0.28	0.00	-2.93	0.00	-6.11	0.00	-12.07
9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.26	0.00	-4.02	0.00	-7.59
10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.28	0.00	-5.12

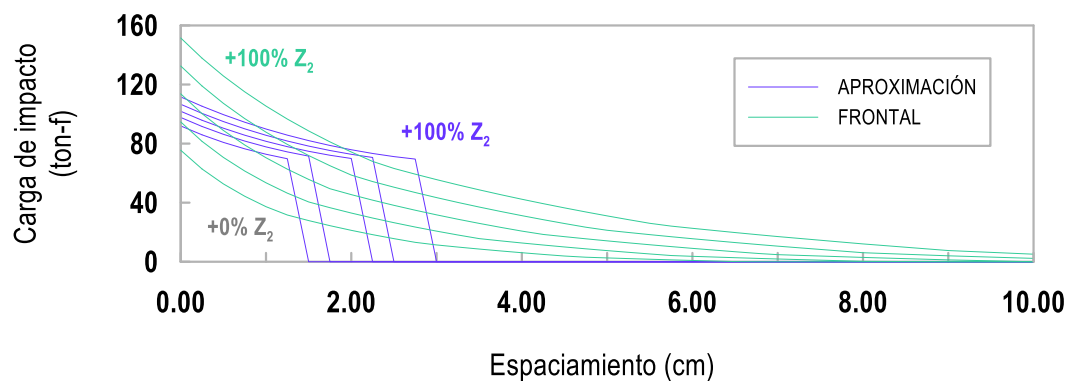


Figura 48: Cargas de impacto en plano principal en colisión con ΔZ_2 vs GAP



3.6.9.3.2. Variación de las frecuencias de excitación

Tabla 11: Cargas de impacto en la variación de las frecuencias de excitación – colisión en plano principal

CARGA DE IMPACTO EN DIAFRAGMA 04 (ton-f)													
GAP [cm]	0.25 Hz		0.50 Hz		1.00 Hz		2.00 Hz		4.00 Hz		8.00 Hz		
	← / →	→ ←	← / →	→ ←	← / →	→ ←	← / →	→ ←	← / →	→ ←	← / →	→ ←	
0.00	-151.40	-43.37	-78.96	-150.78	-59.57	-135.33	-4.23	-133.56	18.46	-70.58	-21.66	-41.96	
0.25	-136.31	-31.57	-73.31	-125.46	-55.85	-105.22	0.00	-83.96	15.13	-29.00	0.00	-7.08	
0.50	-124.05	-23.40	-68.37	-105.69	-52.59	-83.13	0.00	-54.19	0.00	-12.90	0.00	-0.41	
0.75	-113.93	-18.37	-64.03	-89.43	-49.70	-67.31	0.00	-36.92	0.00	-5.02	0.00	0.00	
1.00	-105.45	-14.30	-60.19	-76.97	-47.12	-55.47	0.00	-23.11	0.00	-1.23	0.00	0.00	
1.25	-98.26	-10.83	-56.78	-67.53	-44.81	-45.16	0.00	-15.19	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.50	-92.10	-8.36	-53.75	-58.98	-42.72	-36.07	0.00	-8.60	0.00	0.00	0.00	0.00	
1.75	-86.78	-6.43	-51.02	-51.20	-40.83	-29.25	0.00	-4.44	0.00	0.00	0.00	0.00	
2.00	-82.14	-4.71	-48.58	-44.09	-39.10	-23.88	0.00	-1.97	0.00	0.00	0.00	0.00	
2.25	-78.09	-3.16	-46.37	-37.55	-37.52	-18.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2.50	-74.55	-2.23	-44.37	-32.72	-36.07	-14.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
2.75	0.00	-1.53	-42.56	-28.64	-34.74	-10.35	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3.00	0.00	-0.89	-40.90	-24.82	-33.51	-7.93	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3.25	0.00	-0.29	-39.40	-21.22	0.00	-5.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3.50	0.00	0.00	-38.01	-17.84	0.00	-4.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
3.75	0.00	0.00	-36.75	-14.65	0.00	-2.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4.00	0.00	0.00	-35.58	-11.63	0.00	-0.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4.25	0.00	0.00	-34.51	-9.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4.50	0.00	0.00	-33.53	-8.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
4.75	0.00	0.00	-32.62	-6.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5.00	0.00	0.00	-31.79	-5.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5.25	0.00	0.00	0.00	-4.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5.53	0.00	0.00	0.00	-3.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5.50	0.00	0.00	0.00	-2.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
5.75	0.00	0.00	0.00	-1.59	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6.00	0.00	0.00	0.00	-0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
6.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
7.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
9.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

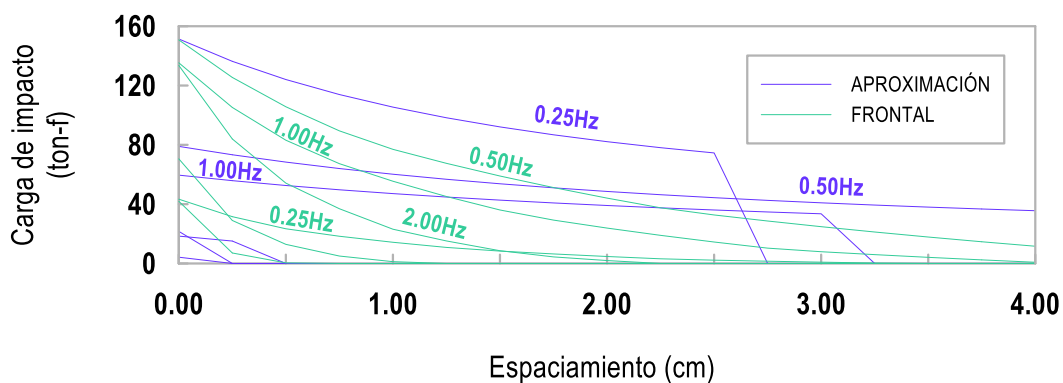


Figura 49: Cargas de impacto en plano principal en colisión con Δ Hz vs GAP

3.6.9.4. Proporcionalidad de la carga de impacto y junta de separación sísmica

3.6.9.4.1. Variación del factor de aceleración sísmica

Tabla 12: Cargas de impacto vs junta de separación sísmica - ΔZ_2 vs GAP

CARGAS DE IMPACTO EN DIAFRAGMA 04 (ton-f)					
GAP (cm)	ZUCS / R	25% Z_2	50% Z_2	75% Z_2	100% Z_2
0.00	91.96	97.69	113.69	132.55	151.52
3.00	11.38	20.73	31.75	43.43	55.60
5.53	2.03	6.12	12.48	19.46	27.89
6.78	0.00	2.24	5.56	11.62	18.23
10.00	0.00	0.00	0.00	2.28	5.12

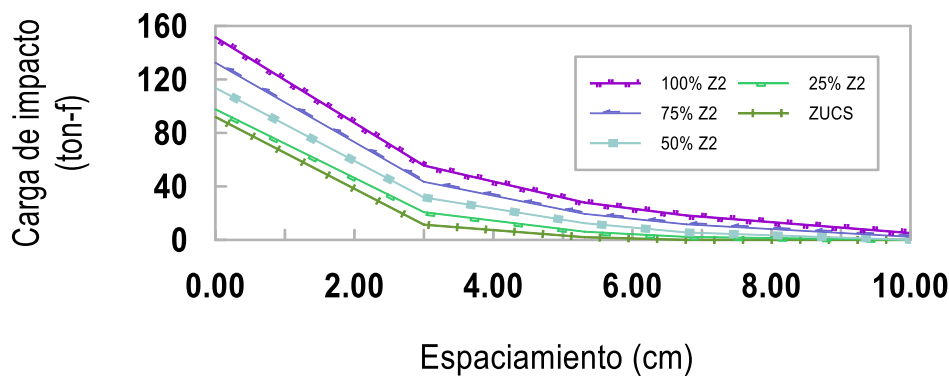


Figura 50: Proporcionalidad de carga de impacto con ΔZ_2 vs GAP

3.6.9.4.2. Variación de las frecuencias de excitación

Tabla 13: Cargas de impacto vs junta de separación sísmica - ΔHz vs GAP

CARGAS DE IMPACTO EN DIAFRAGMA 04 (tonf)						
GAP (cm)	0.25 Hz	0.50 Hz	1.00 Hz	2.00 Hz	4.00 Hz	8.00 Hz
0.00	151.40	150.78	135.33	133.56	70.58	41.96
3.00	0.89	40.90	33.51	0.00	0.00	0.00
5.53	0.00	3.71	0.00	0.00	0.00	0.00
6.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

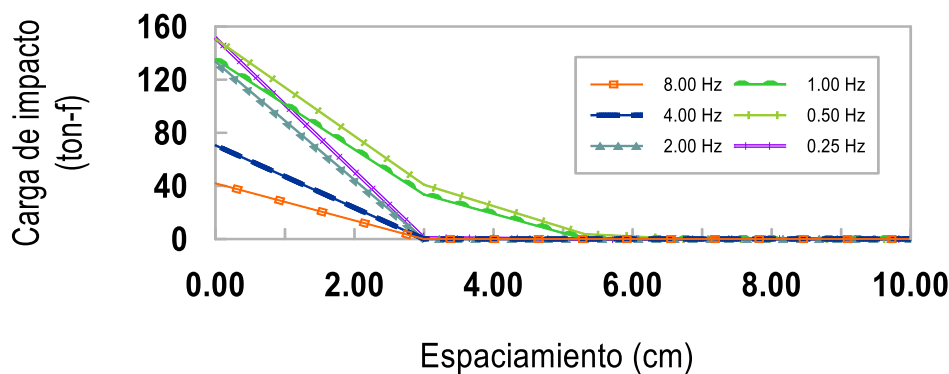


Figura 51: Proporcionalidad de carga de impacto con ΔHz vs GAP



3.6.10. Criterios de inclusión para la asignación de cargas de impacto

3.6.10.1. Variación del factor de aceleración sísmica

La variación del factor de aceleración sísmica parte principalmente por el riesgo latente de la amplificación de las aceleraciones sísmicas producidas por las fallas presentes en un radio de km en la localidad de la Ciudad de Cusco.

Según Sheyla y Benneff (2016), desde el punto de vista geodinámico, la región Cusco es considerada como una zona de alta actividad sísmotectónica (Huamán, 1987). Sólo en el último milenio, la zona urbana de Cuzco ha sido destruida por varios sismos superficiales con magnitudes mayores de 5.0 ML, especialmente los ocurridos en 1650, 1905, 1950 y 1986, algunos de ellos con posible origen en el sistema de fallas de Tambomachay, Qoricocha y probable falla Cusco. En este sentido, la falla Tambomachay constituye uno de los generadores de peligro sísmico latentes para la ciudad de Cusco. Tomando en cuenta su ubicación (adyacente a la ciudad) y la continua actividad sísmica, es necesario estimar el riesgo que representa esta estructura geomorfológica para esta ciudad. Los peligros asociados a esta como los movimientos en masa, licuefacción y/o asentamientos del suelo han sido mayores ante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud. (Yauri & Benneff, 2016)

En ese sentido, considerando un riesgo real y latente en la actualidad, se consideró amplificar el factor en un 100% ya que, Sheyla y Benneff (2016) afirman que, *“El peor escenario sísmico de la ciudad de Cusco, se basa en la posible reactivación de la falla Tambomachay, mediante un sismo de magnitud 6.5Mw, profundidad de 10 km.”* (Yauri & Benneff, 2016). Realizando las equivalencias, un sismo de 6.5Mw equivale entre uno Fuerte y Muy Fuerte para la Escala de Mercalli, y según (Sosa, 2019), para las escalas de entre VI y VII, tenemos entre 0.24G y 0.25G el PGA. Realizando la proporción entre unidades, para las dos estructuras de concreto armado, se tiene 0.09G y 0.13G, lo cual si tomamos el 0.13G correspondiente a la estructura 02, el PGA correspondería a un 100% adicional, así que el criterio de inclusión de la amplificación de la carga de impacto fue la detalla anteriormente. Sin embargo, todo es variable ya que, según Sosa, infiere lo siguiente:

Existe un acuerdo bastante notable entre la correlación PGAm_{max} vs. MMI obtenida en este estudio y la correlación calculada por Wald et al. (1999a) para California. La correlación entre PGAm_{media} y IMM indica niveles de intensidad más bajos asociados con el mismo PGA con respecto a las correlaciones anteriores. Aún no se dispone de datos suficientes para explicar estas diferencias. (Sosa, 2019)

Tabla 14: Asignación de cargas de impacto según variación del factor de aceleración sísmica

CARGAS DE IMPACTO EN VARIACIÓN DEL FACTOR DE ACELERACIÓN SÍSMICA (TONF)					
GAP (cm)	ZUCS / R	+ 25% Z ₂	+ 50% Z ₂	+ 75% Z ₂	+ 100% Z ₂
0.00	91.96	97.69	113.69	132.55	151.52
3.00	11.38	20.73	31.75	43.43	55.60
5.53	2.03	6.12	12.48	19.46	27.89
6.78	0.00	2.24	5.56	11.62	18.23
10.00	0.00	0.00	0.00	2.28	5.12

Tomando con consideración la amplificación del 100% de la aceleración sísmica, se tomó en

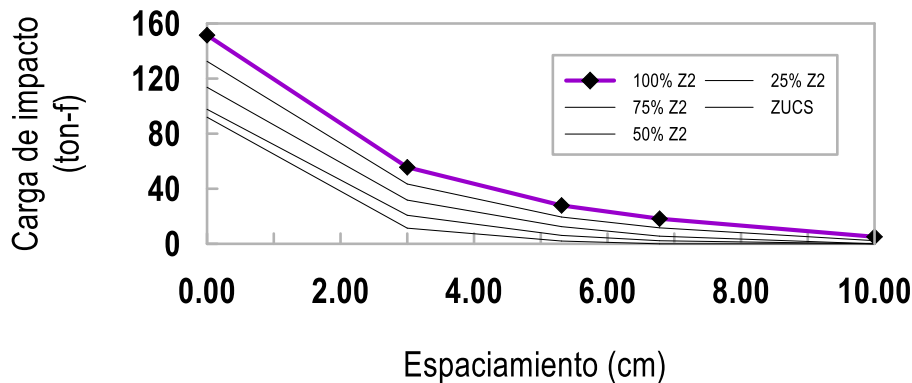


Figura 52: Cargas de impacto en +100%Z₂

cuenta la carga que implica una mayor magnitud, considerando las diferentes separaciones de junta sísmica, se determinó establecer la carga que provoca los 151.52 tonf en los 0.00cm de junta de separación sísmica explicada en la **Tabla 14**. Siendo ésta incluida dentro de software de elementos finitos ETABS, para su análisis como sollicitación horizontal inesperada dentro del análisis sísmico., tal y como se muestra en la **Figura 53**.

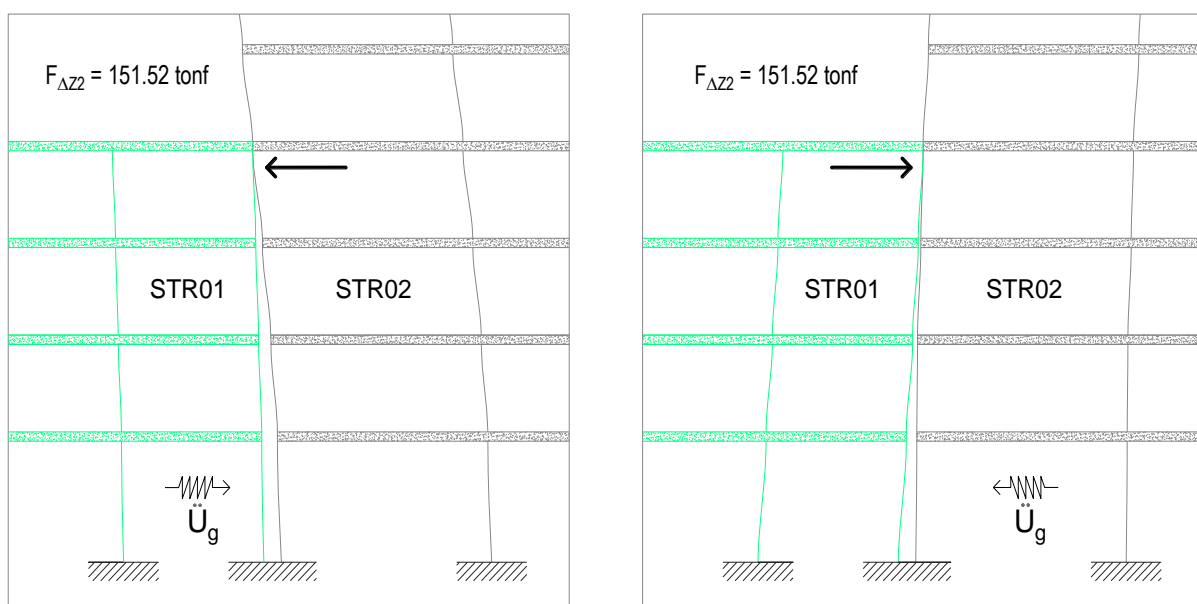


Figura 53: Asignación de carga del 100%Z₂



3.6.10.2. Variación de las frecuencias de excitación

El estudio de la dinámica en estructuras induce a comprender la respuesta y el comportamiento de los sistemas estructurales frente a diversas sollicitaciones que están sujetas a repentinos cambios y variaciones, en este caso, las aceleraciones sísmicas con múltiples rangos de amplitudes, vectores multidireccionales, diversas intensidades, entre otros.

Los grados de libertad en el estudio de las respuestas y el comportamiento de las estructuras, cumplen una importante práctica dentro del análisis, dado que los característicos movimientos en respuesta a las sollicitaciones externas en la que las estructuras son sometidas, son cuantificadas mediante su número de grados de libertad, es así que los sistemas de SDOF (Single degree of freedom) y MDOF (Multiple degree of freedom), son intensamente estudiados por la comunidad científica en el estudio de la dinámica de estructuras, para su mejor entendimiento en la realidad.

Ante la variación de frecuencias de excitación sísmicas presentes en un evento sísmico, en el análisis propuesto se incluye un listado de frecuencias de $[0.25\text{Hz} - 8.00\text{Hz}]$, considerando amplitudes del coeficiente cortante en la base de cada sistema estructural (ZUCS/R). En ese sentido, las cargas de impacto que se incluyen en el análisis post-colisión son las que mantienen una cercanía a las frecuencias naturales de vibración de cada sistema estructural, viéndose así en el caso donde se presentan los mayores esfuerzos y desplazamientos en cada estructura, es decir, en los casos más desfavorables.

Las estructuras con periodos de 0.52 s y 1.42 s, presentan frecuencias naturales de vibración de 1.92 Hz y 0.70 Hz para la estructura 01 y 02 respectivamente. Considerando dichas frecuencias, en el análisis de interacción estructural, se evaluó con 0.50 Hz y 2.00 Hz (**Figura 54**), siendo ambas seleccionadas para incluirlas dentro del análisis post-colisión, siendo estas expuestas en la Tabla 15.

En este caso, las cargas laterales producto del evento de colisión, es de 150.78 tonf, en los 0.00cm de junta de separación sísmica. Siendo ésta incluida dentro de software de elementos finitos ETABS, para su análisis como sollicitación horizontal inesperada dentro del análisis sísmico., tal y como se muestra en la **Figura 55**. Siendo esta aplicada igualmente de forma horizontal en el cuarto nivel, en el diafragma 04 para cada estructura. Este valor se utiliza por el hecho que es el mayor en el análisis de interacción a través de la cuantificación de las cargas de impacto con el modelo Hertz-Damp.

Tabla 15: Asignación de cargas de impacto según frecuencias de excitación

CARGAS DE IMPACTO EN VARIACIÓN DE LAS FRECUENCIAS DE EXCITACIÓN (TONF)						
GAP (cm)	0.25 Hz	0.50 Hz	1.00 Hz	2.00 Hz	4.00 Hz	8.00 Hz
0.00	151.40	150.78	135.33	133.56	70.58	41.96
3.00	0.89	40.90	33.51	0.00	0.00	0.00
5.53	0.00	3.71	0.00	0.00	0.00	0.00
6.78	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

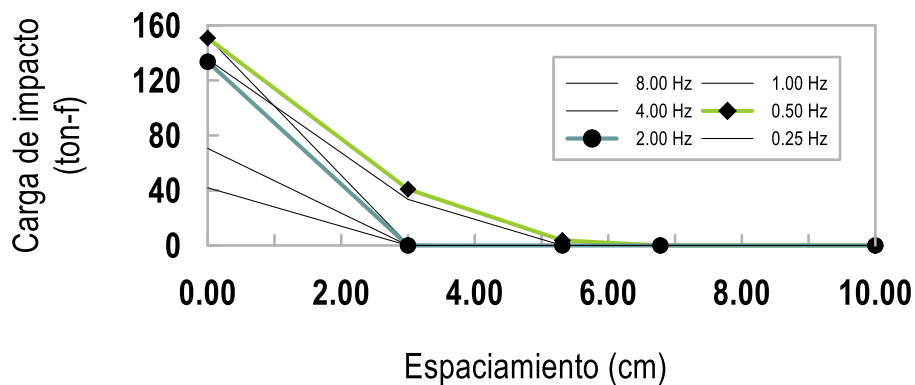


Figura 54: Cargas de impacto en 0.50Hz y 2.00Hz

Considerando la cuantificación de las cargas en las frecuencias de excitación de 0.50 Hz y 2.00 Hz, la carga predominante fue la 0.50Hz, siendo inducido el movimiento de izquierda a derecha y de derecha a izquierda para la figura de la izquierda y derecha, solicitando la carga lateral inesperada de 150.78 tonf, de la estructura 01 a 02, y 02 a 01, respectivamente, tal y como se expone en la **Tabla 15** y se observa en la **Figura 55**.

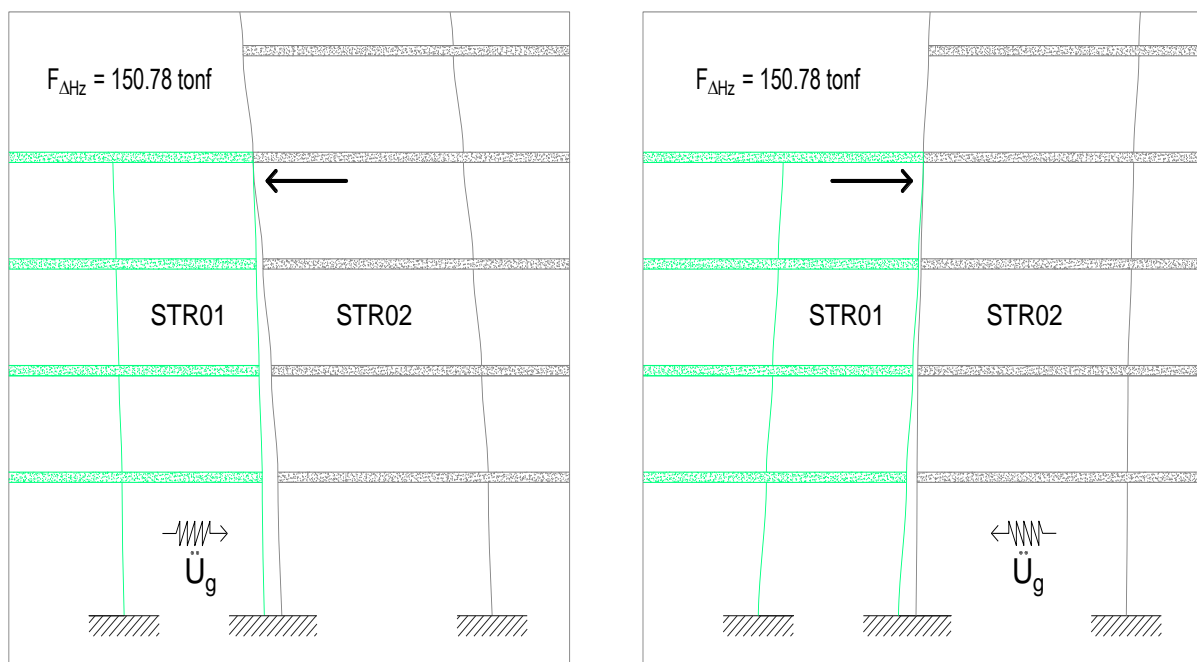


Figura 55: Asignación de carga entre 0.50Hz y 2.00Hz



3.6.11. Propuesta de validación de resultados de cargas de impacto

3.6.11.1. Sustento de la incorporación de carga estática

En base a la revisión bibliográfica y de literatura técnica, los modelos de impacto cuantifican las cargas en base a las diferentes sollicitaciones externas que se presentan junto con los parámetros de respuesta de cada una de las estructuras estudiadas.

En la investigación con respecto al estudio sobre la interacción entre estructuras adyacentes sin una adecuada junta de separación sísmica, utilizando el software de elementos finitos ETABS, los autores indujeron a las estructuras a experimentar sollicitaciones sísmicas en base a un registro tiempo historia y cuantificaron cargas de impacto de carácter dinámicas a través de los modelos que el software ofrece. (Castillo & Flores, 2019)

Por otro lado, en la investigación sobre el análisis no lineal con elementos finitos en estructuras sometidas a golpeteo inducido por sismo, se incluyó un registro acelerográfico del Terremoto El Centro, con el fin de estudiar el golpeteo a nivel de un sismo de magnitud considerable con posible indicio de corresponder como sustento, al colapso de la mayoría de edificios durante el mismo terremoto. Dicha investigación obtuvo diferentes cargas de impacto (**Tabla 16**), para cada instante de la colisión siendo la mayor, en el segundo 3.62 del registro tiempo historia, la elegida para el análisis del golpeteo. (Mohammed, A.B.M., Raja, Syed, & M., 2011)

En la presente investigación, se hizo uso de una carga estática como medio para estudiar el comportamiento en un solo instante de la colisión, para la cual, se consideró el primer modo de vibración de cada estructura que presenta un mayor grado de conservación de energía junto con el mayor porcentaje de masa participativa. Ambas consideraciones caracterizan e inducen a representar la mayor respuesta de cada estructura estudiada y, por ende, a cuantificar una mayor magnitud de carga de impacto.

Como metodología se empleó un modelamiento en ETABS y un procedimiento analítico para la cuantificación de las cargas de impacto en los planos en contacto para los diferentes GAP propuestos, junto con su posterior incorporación de manera estática en el software para el estudio post colisión. Dicha incorporación es considerada dentro de una propuesta metodológica, la cual es preliminar, exploratoria y de carácter aún por validar dentro del estudio de los impactos, tal y como se menciona en las limitaciones teóricas y de estudio. Dado que las cargas dinámicas inducirán a sollicitaciones de corta duración y alta intensidad a través de una condición de carga del tipo pulso, mas no a cargas estáticas de carácter constante, como la planteada y aplicada en la presente investigación.

3.6.11.2. Comparación con espectro de respuesta de carga de golpeteo

La investigación que se realiza en el trabajo de (Jankowski, 2006) con respecto a la obtención de espectro de respuesta de cargas de golpeteo en MN en las colisiones entre estructuras de concreto armado con diferentes periodos y configuraciones estructurales; demuestra un comportamiento generalizado de las cargas de impacto frente a diversos escenarios. En la **Figura 56**, el autor expone 06 espectros de respuesta que evidencian el comportamiento de las cargas de impacto conforme se evalúen los periodos estructurales de cada estructura que entra en colisión. Adicionalmente en su trabajo se detalla el comportamiento para las variaciones en masa, registro acelerográfico de diversos eventos sísmicos de magnitud considerable, entre otros, siendo el presentado a continuación, el estudiado para el Terremoto El Centro en California con una magnitud de 7.0 en la escala de Richter.

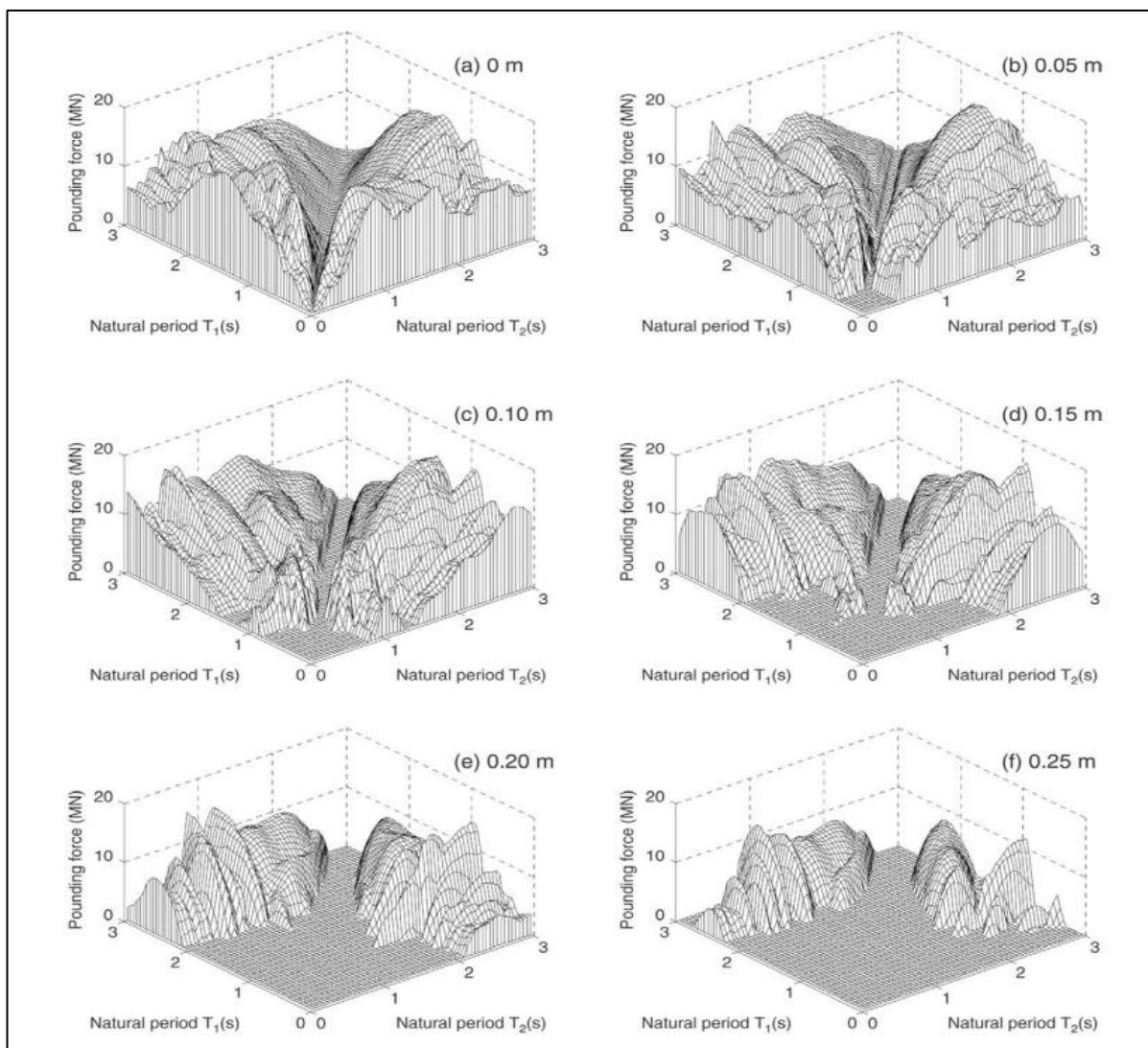


Figura 56: Espectro de respuesta del golpeteo estructural en el Terremoto El Centro, para diferentes GAP

Fuente: Robert Jankowski (2006)

El análisis proporcionó la información cuantificable de las cargas de impacto para los dos casos estudiados en la presente tesis, con un promedio de carga de 151.15 tonf a través del modelo Hertz-Damp, siendo esta carga 7.40 veces menor que la estimada en el espectro de respuesta del golpeteo para el Terremoto El Centro, explicada en la **Figura 57** a continuación.

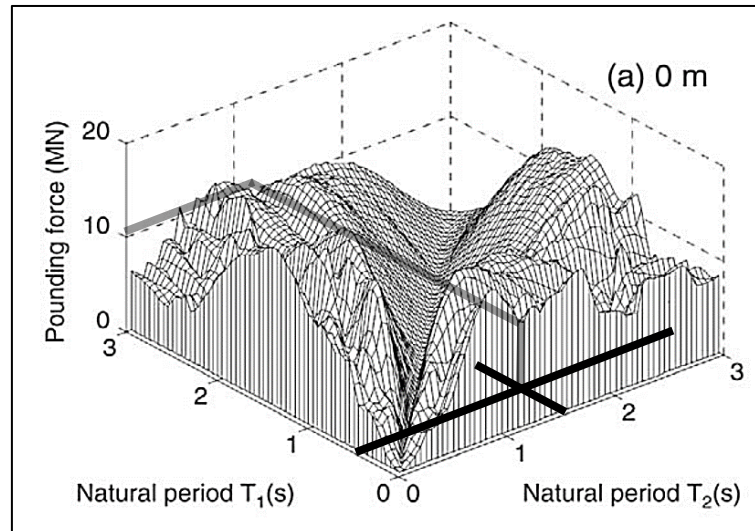


Figura 57: Estimación de carga en el espectro de respuesta para un T_1 y T_2 en $GAP = 0.00cm$

3.6.11.3. Comparación con análisis en MDOF

En la investigación que se realiza en el trabajo de (Mohammed, A.B.M., Raja, Syed, & M., 2011) analizando estructuras sometidas a impacto en edificios de múltiples pisos inducidos a sismos, los autores estimaron cargas de impacto para diferentes GAP y en intervalos de tiempo, utilizando el registro acelográfico de El Centro en el año 1940, siendo los resultados, presentados en la **Tabla 16**.

Gap distance (mm)	Floor level	Time (s)	Pounding force (kN)
25	4 th	3.56	1374.14
125	4th	3.62	1374.63
250	4th	4.62	878.30

Tabla 16: Cargas de impacto en estudio de estructuras de múltiples pisos.

Fuente: Mohammed, A.B.M., Raja, Syed, & M. (2011)

Tomando en consideración los resultados expuestos, existe una similitud importante de magnitudes de carga de impacto en conformidad a los estudios expuestos en este punto, siendo validados para la siguiente fase, la estimación del comportamiento post colisión.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. ESTRUCTURA DE ENTENDIMIENTO

En este punto, de manera inicial se estimó la respuesta sísmica de cada estructura de forma independiente, estudiando su interacción a través de la teoría de impacto explicada en el marco teórico y por último, cuantificadas las cargas de impacto con el modelo Hertz-Damp junto con la validación de resultados en función a estudios precedentes; se procede a iniciar el análisis post colisión, donde se asignó como sollicitación lateral y de característica “inesperada” para el análisis sísmico, una carga puntual que idealiza el impacto entre los diafragmas en contacto. A continuación, en la **Figura 58**, se explica la secuencia empleada para conceptualizar de manera gráfica la investigación hasta este punto de estudio.

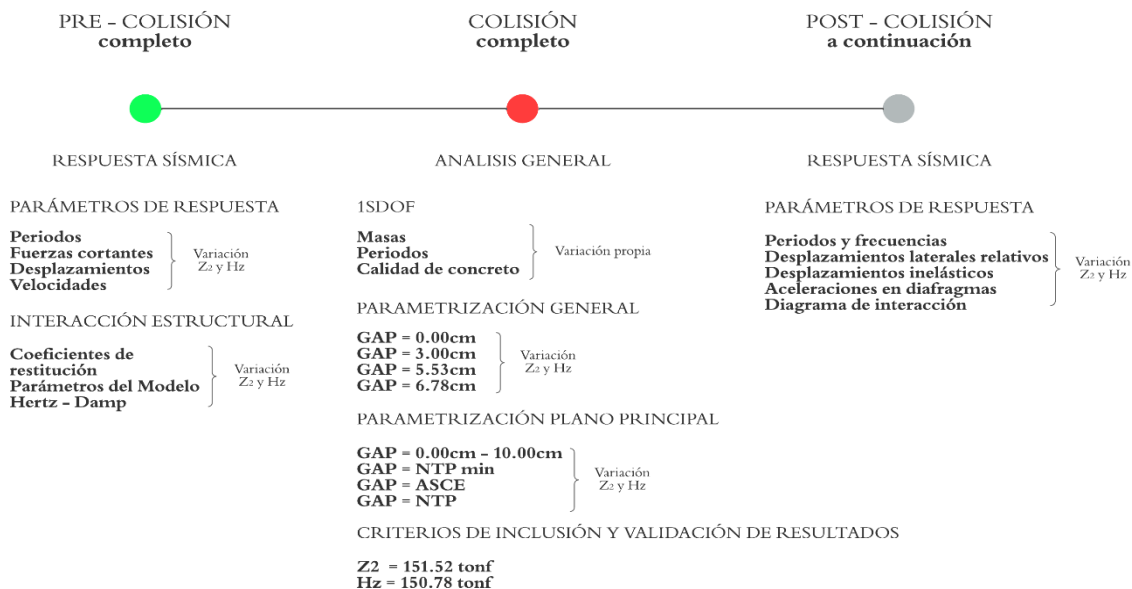


Figura 58: Diagrama de secuencia de avance

4.2. RESPUESTA SÍSMICA DE LAS ESTRUCTURAS SOMETIDAS A IMPACTO

Al estudiar el efecto del impacto en los dos tipos de variaciones, para cada parámetro de respuesta estructural (periodos y frecuencias naturales de vibración, desplazamientos laterales relativos, desplazamientos inelásticos y aceleraciones en diafragmas); se hizo referencia a dos resultados, en la variación del factor de aceleración sísmica (ΔZ_2) y en la de frecuencias de excitación (ΔH_z), los cuales se exponen entre la **Tabla 17 y 24** y se observan entre la **Figura 59 y 64**. Adicionalmente, se realizó el análisis para los primeros 12 modos de vibración para la estructura 1 (**ST01**) y la estructura 2 (**ST02**).



4.2.1. Periodos y frecuencias de vibración

4.2.1.1. Factor de aceleración sísmica + 100%Z₂

Tabla 17: Periodos y frecuencias en ΔZ_2

Modo	No pounding (pre-colisión)				Pounding (post-colisión)			
	ST01	ST02	ST01	ST02	ST01	ST02	ST01	ST02
	Periodo		Frecuencia		Periodo		Frecuencia	
	[s]		[Hz]		[s]		[Hz]	
1.00	0.52	1.43	1.91	0.70	0.52	1.19	1.92	0.84
2.00	0.52	1.19	1.92	0.84	0.23	1.06	4.28	0.94
3.00	0.37	1.09	2.71	0.92	0.14	0.84	6.97	1.19
4.00	0.16	0.40	6.33	2.50	0.14	0.34	7.23	2.93
5.00	0.14	0.34	6.97	2.93	0.10	0.28	9.81	3.53
6.00	0.10	0.31	9.95	3.20	0.07	0.24	15.25	4.21
7.00	0.09	0.19	11.37	5.34	0.06	0.17	16.44	5.96
8.00	0.07	0.17	15.25	5.96	0.06	0.13	16.72	7.64
9.00	0.06	0.15	17.84	6.66	0.05	0.12	20.55	8.35
10.00	0.05	0.11	19.42	9.36	0.04	0.10	25.21	9.88
11.00	0.04	0.10	25.93	9.88	0.04	0.09	25.93	10.85
12.00	0.04	0.09	28.04	11.53	0.03	0.08	30.03	12.14

4.2.1.2. Frecuencias de excitación de 0.50Hz y 2.00Hz

Tabla 18: Periodos y frecuencias en ΔH_z

Modo	No pounding (pre-colisión)				Pounding (post-colisión)			
	ST01	ST02	ST01	ST02	ST01	ST02	ST01	ST02
	Periodo		Frecuencia		Periodo		Frecuencia	
	[s]		[Hz]		[s]		[Hz]	
1.00	0.52	1.43	1.91	0.70	0.52	1.19	1.92	0.84
2.00	0.52	1.19	1.92	0.84	0.23	1.05	4.28	0.96
3.00	0.37	1.09	2.71	0.92	0.14	0.81	6.97	1.23
4.00	0.16	0.40	6.33	2.50	0.14	0.34	7.23	2.93
5.00	0.14	0.34	6.97	2.93	0.10	0.28	9.81	3.63
6.00	0.10	0.31	9.95	3.20	0.07	0.23	15.25	4.44
7.00	0.09	0.19	11.37	5.34	0.06	0.17	16.44	5.96
8.00	0.07	0.17	15.25	5.96	0.06	0.12	16.72	8.12
9.00	0.06	0.15	17.84	6.66	0.05	0.11	20.55	9.32
10.00	0.05	0.11	19.42	9.36	0.04	0.10	25.21	9.88
11.00	0.04	0.10	25.93	9.88	0.04	0.08	25.93	12.50
12.00	0.04	0.09	28.04	11.53	0.03	0.08	30.03	13.06



4.2.2. Desplazamientos laterales relativos

Se consideró el desplazamiento de cada estructura en sentido horizontal, siendo el Drift X⁻ el desplazamiento de la estructura hacia la derecha y Drift X⁺, hacia la izquierda.

4.2.2.1. Factor de aceleración sísmica + 100%Z₂

Tabla 19: Derivas en $\Delta Z_2 = +100\%$

Story	No pounding (pre-colisión)				Pounding (post-colisión)			
	ST01		ST02		ST01			
	Drift X ⁻	Drift X ⁺	Drift X ⁻	Drift X ⁺	Drift X ⁻	Drift X ⁺	Drift X ⁻	Drift X ⁺
	[A]		[A]		[A]			
Story15	-	-	-0.0034	0.0034	-	-	-0.0037	0.0034
Story14	-	-	-0.0037	0.0037	-	-	-0.0040	0.0037
Story13	-	-	-0.0041	0.0041	-	-	-0.0044	0.0041
Story12	-	-	-0.0046	0.0046	-	-	-0.0049	0.0046
Story11	-	-	-0.0050	0.0050	-	-	-0.0053	0.0050
Story10	-	-	-0.0054	0.0054	-	-	-0.0056	0.0054
Story9	-	-	-0.0057	0.0057	-	-	-0.0057	0.0057
Story8	-	-	-0.0060	0.0060	-	-	-0.0056	0.0060
Story7	-	-	-0.0061	0.0061	-	-	-0.0053	0.0061
Story6	-	-	-0.0062	0.0062	-	-	-0.0046	0.0062
Story5	-	-	-0.0060	0.0060	-	-	-0.0034	0.0068
Story4	-0.0028	0.0028	-0.0057	0.0057	-0.0476	0.0010	-0.0017	0.0091
Story3	-0.0033	0.0033	-0.0050	0.0050	-0.0466	0.0004	-0.0008	0.0096
Story2	-0.0035	0.0035	-0.0039	0.0039	-0.0431	0.0005	-0.0007	0.0083
Story1	-0.0026	0.0026	-0.0017	0.0017	-0.0276	0.0009	-0.0003	0.0039

En la **Figura 59** se muestran los desplazamientos laterales relativos de la estructura 01 y 02, para el caso de pounding y no pounding en la variación del factor de aceleración sísmica.

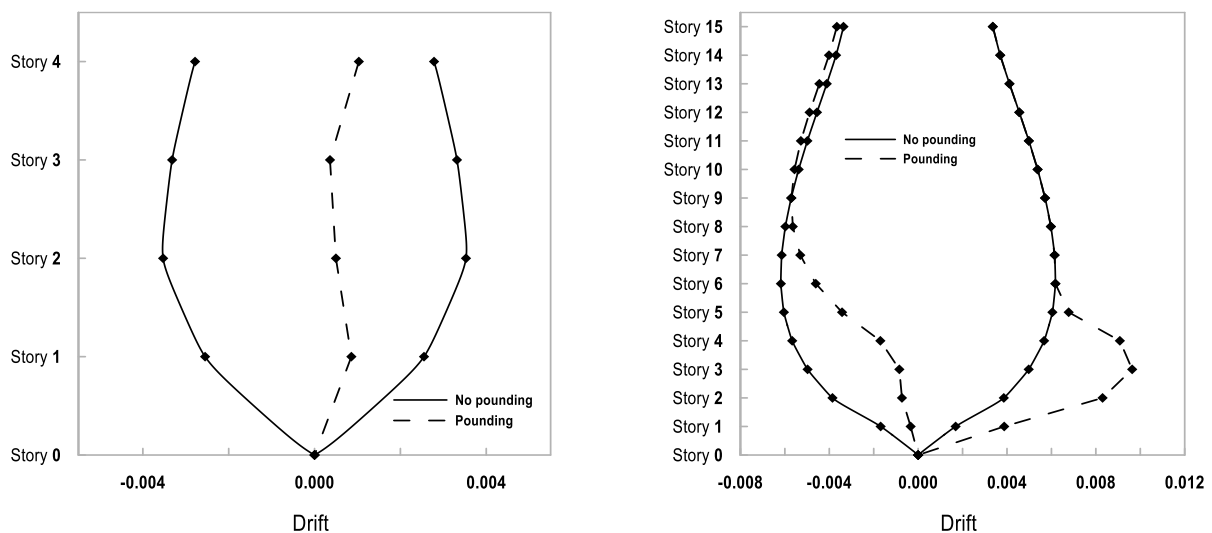


Figura 59: Derivas en ΔZ_2 – de izquierda a derecha, ST01 y ST02

4.2.2.2. Frecuencias de excitación de 0.50Hz y 2.00Hz

Tabla 20: Derivas en ΔHz

Story	No pounding (pre-colisión)				Pounding (post-colisión)			
	ST01		ST02		ST01			
	Drift X-	Drift X+	Drift X-	Drift X+	Drift X-	Drift X+	Drift X-	Drift X+
	[A]		[A]		[A]			
Story15	-	-	-0.0060	0.0070	-	-	-0.0052	0.0070
Story14	-	-	-0.0065	0.0077	-	-	-0.0057	0.0077
Story13	-	-	-0.0072	0.0083	-	-	-0.0062	0.0083
Story12	-	-	-0.0078	0.0089	-	-	-0.0066	0.0089
Story11	-	-	-0.0083	0.0092	-	-	-0.0069	0.0092
Story10	-	-	-0.0085	0.0091	-	-	-0.0071	0.0091
Story9	-	-	-0.0084	0.0087	-	-	-0.0070	0.0087
Story8	-	-	-0.0080	0.0079	-	-	-0.0067	0.0079
Story7	-	-	-0.0073	0.0068	-	-	-0.0059	0.0068
Story6	-	-	-0.0065	0.0061	-	-	-0.0049	0.0061
Story5	-	-	-0.0065	0.0065	-	-	-0.0035	0.0065
Story4	-0.0022	0.0021	-0.0061	0.0066	-0.0473	0.0009	-0.0017	0.0080
Story3	-0.0026	0.0026	-0.0053	0.0060	-0.0464	0.0003	-0.0005	0.0085
Story2	-0.0032	0.0031	-0.0041	0.0049	-0.0429	0.0004	-0.0004	0.0073
Story1	-0.0027	0.0026	-0.0017	0.0022	-0.0274	0.0008	-0.0004	0.0034

En la **Figura 60** se muestran los desplazamientos laterales relativos de la estructura 01 y 02, de izquierda a derecha respectivamente, para el caso de pounding y no pounding en la variación de la frecuencia de excitación sísmica.

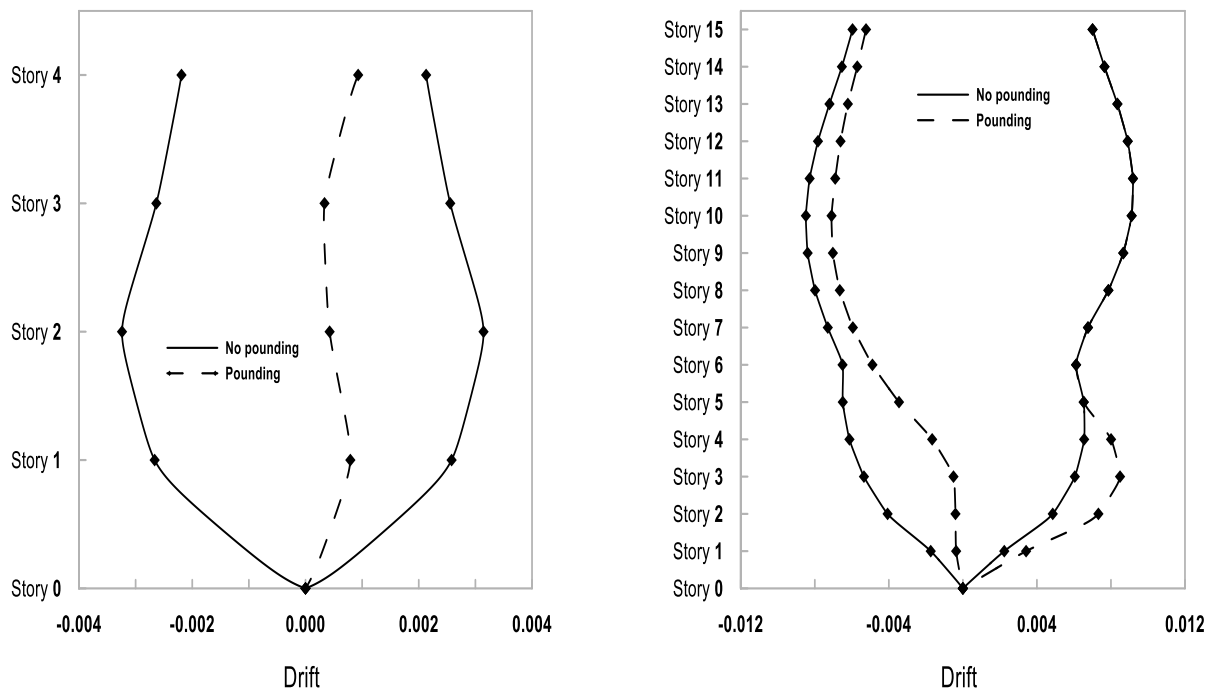


Figura 60: Derivas en ΔHz – de izquierda a derecha, ST01 y ST02

4.2.3. Desplazamientos inelásticos

4.2.3.1. Factor de aceleración sísmica + 100%Z₂

Tabla 21: Desplazamientos en $\Delta Z_2 = +100\%$

Story	No pounding (pre-colisión)				Pounding (post-colisión)			
	ST01		ST02		ST01		ST02	
	Absolute displacement				Absolute displacement			
	[cm]		[cm]		[cm]		[cm]	
Story15	-	-	-18.96	18.96	-	-	-14.63	23.16
Story14	-	-	-18.08	18.08	-	-	-13.68	22.29
Story13	-	-	-17.12	17.12	-	-	-12.63	21.33
Story12	-	-	-16.05	16.05	-	-	-11.48	20.26
Story11	-	-	-14.87	14.87	-	-	-10.21	19.08
Story10	-	-	-13.57	13.57	-	-	-8.84	17.78
Story9	-	-	-12.18	12.18	-	-	-7.39	16.38
Story8	-	-	-10.69	10.69	-	-	-5.90	14.90
Story7	-	-	-9.14	9.14	-	-	-4.44	13.35
Story6	-	-	-7.54	7.54	-	-	-3.06	11.75
Story5	-	-	-5.93	5.93	-	-	-1.86	10.14
Story4	-3.40	3.40	-4.36	4.36	-45.34	0.79	-0.97	8.38
Story3	-2.67	2.67	-2.89	2.89	-32.98	0.52	-0.53	6.02
Story2	-1.81	1.81	-1.59	1.59	-20.85	0.43	-0.31	3.51
Story1	-0.89	0.89	-0.59	0.59	-9.65	0.30	-0.12	1.36

En la **Figura 61** se muestran los desplazamientos inelásticos de la estructura 01 y 02, de izquierda a derecha respectivamente, en el caso de pounding y no pounding en la variación del factor de aceleración sísmica.

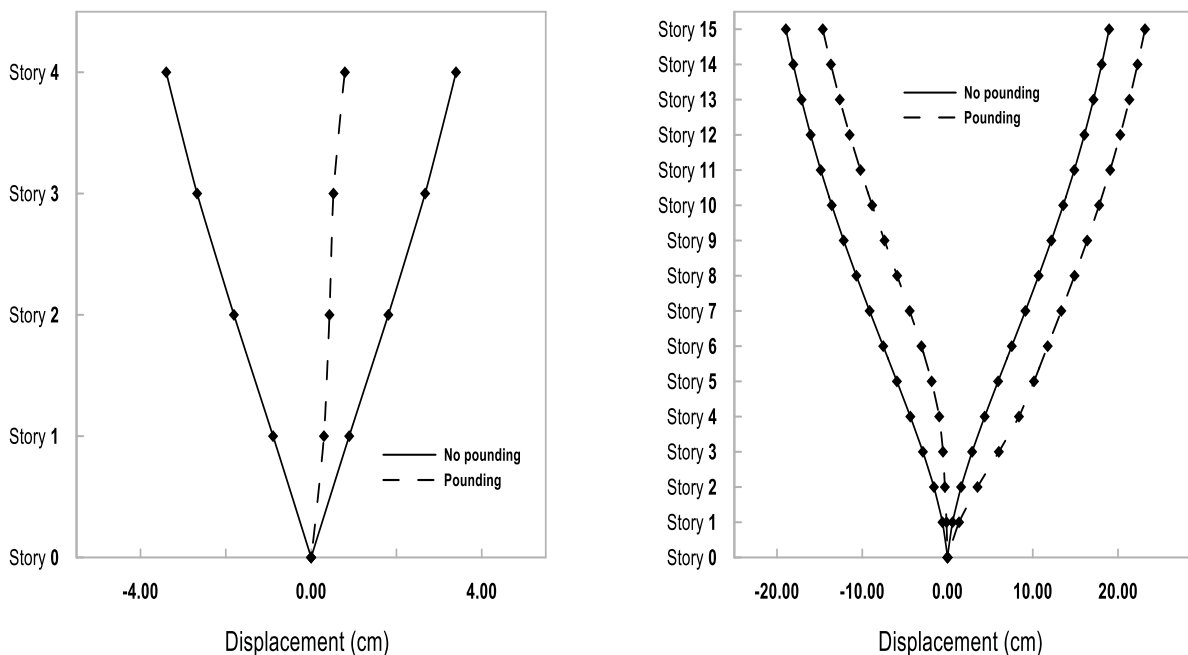


Figura 61: Desplazamientos en ΔZ_2 – de izquierda a derecha, ST01 y ST02

4.2.3.2. Frecuencias de excitación de 0.50Hz y 2.00Hz

Tabla 22: Desplazamientos en ΔH_z

Story	No pounding (pre-colisión)				Pounding (post-colisión)			
	ST01		ST02		ST01		ST02	
	Absolute displacement				Absolute displacement			
	[cm]		[cm]		[cm]		[cm]	
Story15	-	-	-25.70	27.72	-	-	-17.88	29.79
Story14	-	-	-24.15	25.90	-	-	-16.52	27.97
Story13	-	-	-22.45	23.91	-	-	-15.04	25.98
Story12	-	-	-20.58	21.74	-	-	-13.42	23.81
Story11	-	-	-18.54	19.42	-	-	-11.70	21.49
Story10	-	-	-16.39	17.03	-	-	-9.91	19.10
Story9	-	-	-14.18	14.66	-	-	-8.06	16.73
Story8	-	-	-12.00	12.41	-	-	-6.24	14.48
Story7	-	-	-9.92	10.37	-	-	-4.51	12.43
Story6	-	-	-8.03	8.61	-	-	-2.96	10.68
Story5	-	-	-6.34	7.02	-	-	-1.69	9.09
Story4	-3.03	2.94	-4.65	5.32	-45.12	0.72	-0.80	7.39
Story3	-2.46	2.39	-3.06	3.62	-32.82	0.48	-0.36	5.31
Story2	-1.77	1.72	-1.67	2.05	-20.75	0.39	-0.23	3.10
Story1	-0.93	0.90	-0.61	0.78	-9.61	0.28	-0.13	1.20

En la **Figura 62** se muestran los desplazamientos inelásticos de la estructura 01 y 02, de izquierda a derecha respectivamente, en el caso de pounding y no pounding en la variación de la frecuencia de excitación sísmica.

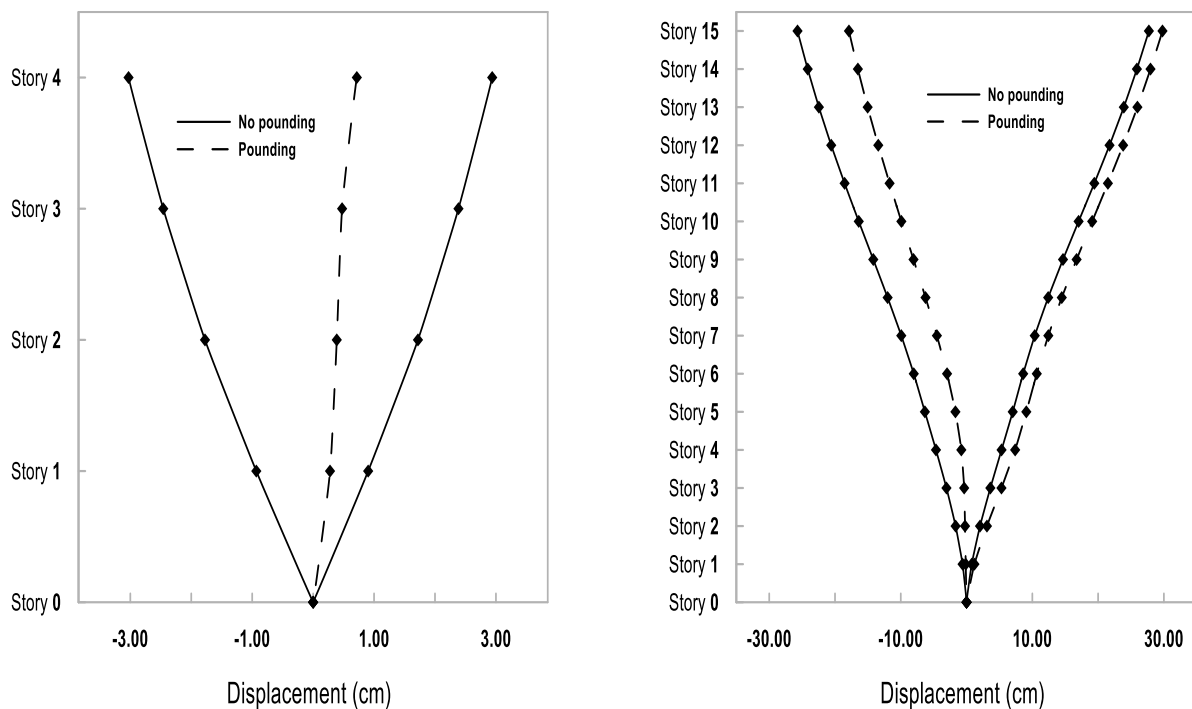


Figura 62: Desplazamientos en ΔH_z – de izquierda a derecha, ST01 y ST02

4.2.4. Aceleraciones en diafragmas

4.2.4.1. Factor de aceleración sísmica + 100%Z₂

Tabla 23: Aceleraciones en $\Delta Z_2 = +100\%$

Story	No pounding (pre-colisión)				Pounding (post-colisión)			
	ST01		ST02		ST01		ST02	
	Acceleration				Acceleration			
	[cm/s ²]		[cm/s ²]		[cm/s ²]		[cm/s ²]	
Story15	-	-	-126.99	126.99	-	-	-140.98	122.61
Story14	-	-	-96.76	96.76	-	-	-107.22	95.39
Story13	-	-	-82.49	82.49	-	-	-92.45	78.00
Story12	-	-	-75.81	75.81	-	-	-89.69	72.19
Story11	-	-	-73.50	73.50	-	-	-84.73	70.67
Story10	-	-	-73.76	73.76	-	-	-80.04	69.17
Story9	-	-	-75.19	75.19	-	-	-80.49	69.95
Story8	-	-	-76.87	76.87	-	-	-79.06	73.05
Story7	-	-	-77.99	77.99	-	-	-71.99	74.38
Story6	-	-	-77.93	77.93	-	-	-66.49	72.50
Story5	-	-	-76.18	76.18	-	-	-69.82	70.24
Story4	-149.98	149.98	-72.25	72.25	-224.97	61.97	-89.52	67.93
Story3	-109.94	109.94	-65.90	65.90	-164.92	102.01	-138.78	60.19
Story2	-85.36	85.36	-56.51	56.51	-128.04	130.12	-138.96	42.87
Story1	-58.80	58.80	-41.50	41.50	-88.20	90.71	-75.01	19.28

En la **Figura 63** se muestran las aceleraciones de la estructura 01 y 02, de izquierda a derecha respectivamente, en el caso de pounding y no pounding en la variación del factor de aceleración sísmica.

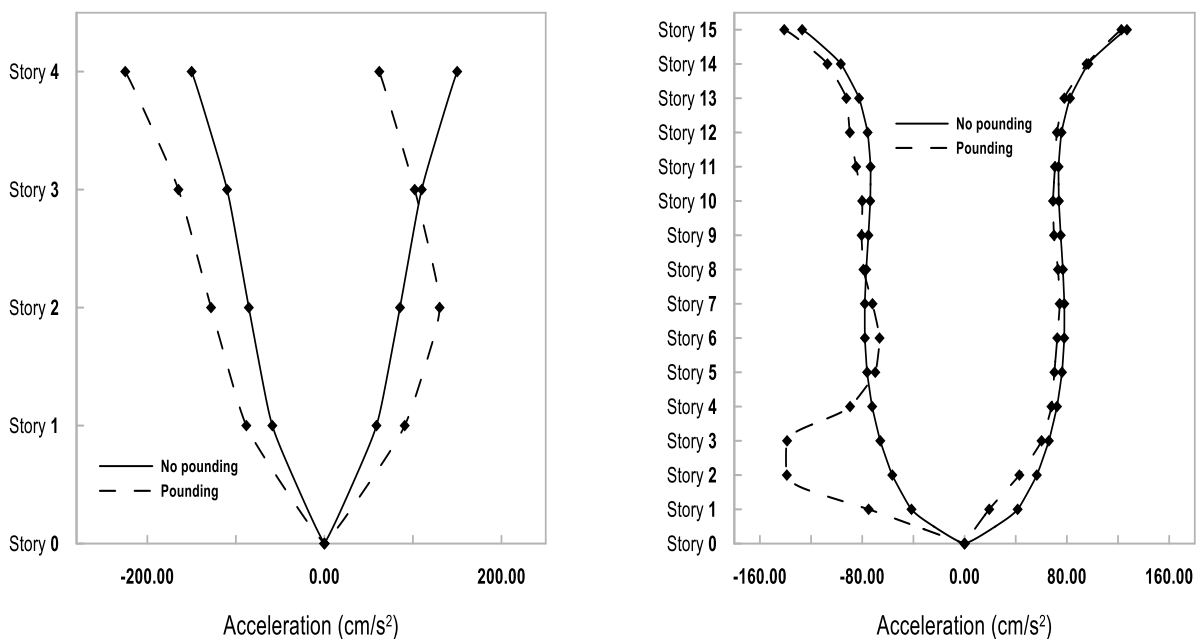


Figura 63: Aceleraciones en ΔZ_2 – de izquierda a derecha, ST01 y ST02

4.2.4.2. Frecuencias de excitación de 0.50Hz y 2.00Hz

Tabla 24: Aceleraciones en ΔHz

Story	No pounding (pre-colisión)				Pounding (post-colisión)			
	ST01		ST02		ST01		ST02	
	Acceleration				Acceleration			
	[cm/s ²]		[cm/s ²]		[cm/s ²]		[cm/s ²]	
Story15	-	-	-310.24	244.76	-	-	-155.13	212.78
Story14	-	-	-258.44	198.43	-	-	-136.65	174.79
Story13	-	-	-201.47	164.93	-	-	-119.81	143.48
Story12	-	-	-139.69	127.09	-	-	-105.64	115.10
Story11	-	-	-75.57	85.83	-	-	-94.46	84.30
Story10	-	-	-83.76	84.66	-	-	-99.57	104.39
Story9	-	-	-137.80	93.93	-	-	-98.85	123.24
Story8	-	-	-185.42	139.02	-	-	-110.78	131.91
Story7	-	-	-218.42	171.61	-	-	-122.91	128.60
Story6	-	-	-235.72	189.69	-	-	-128.36	116.74
Story5	-	-	-238.11	192.92	-	-	-129.54	123.72
Story4	-94.68	99.26	-225.95	188.58	-88.15	88.42	-131.36	126.74
Story3	-93.38	95.99	-201.46	176.73	-87.60	89.12	-133.47	127.59
Story2	-91.78	92.36	-170.66	157.03	-87.48	89.39	-131.36	127.59
Story1	-89.80	90.29	-141.07	136.01	-87.75	89.13	-126.14	124.54

En la **Figura 64** se muestran las aceleraciones de la estructura 01 y 02, de izquierda a derecha respectivamente, en el caso de pounding y no pounding en la variación de la frecuencia de excitación sísmica

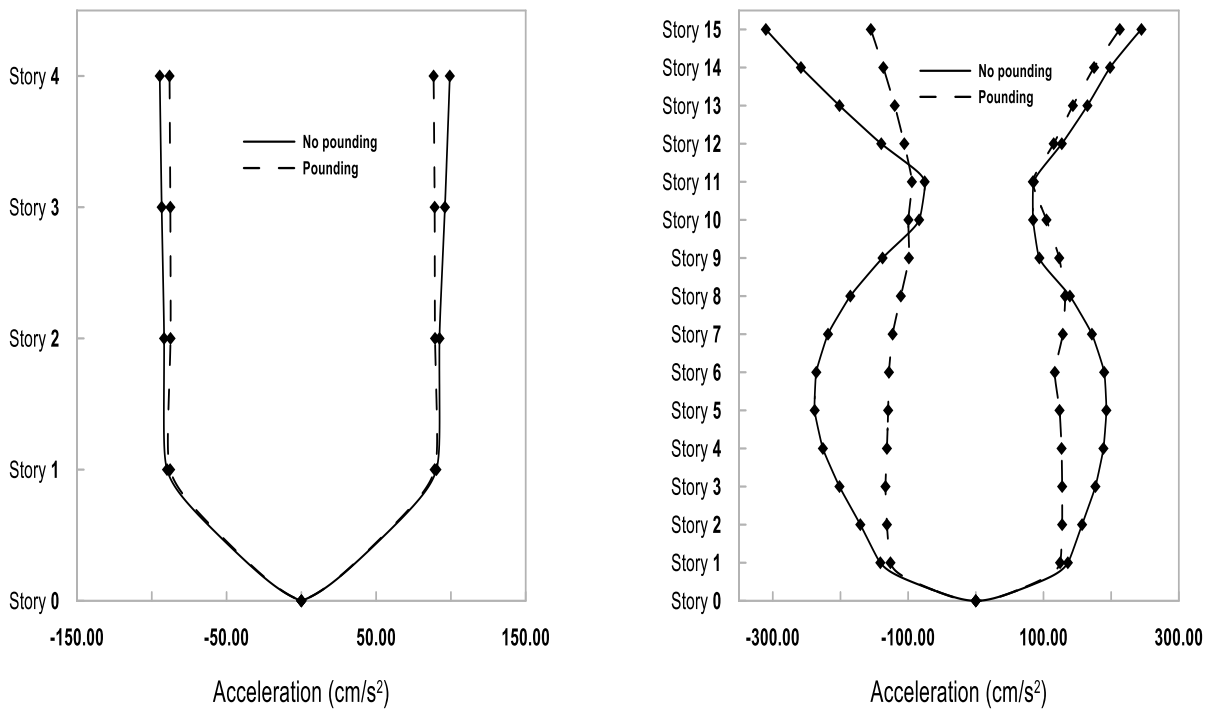


Figura 64: Aceleraciones en ΔHz – de izquierda a derecha, ST01 y ST02



4.2.5. Diagrama de interacción

Los presentes diagramas de interacción corresponden a la estructura 01 y 02 en el caso pre – colisión y post – colisión. Con las combinaciones según la E060, los puntos negros son los valores correspondientes a las cargas axiales y los momentos flectores, como esfuerzos biaxiales presentes en las columnas, tal y como se muestra en la **Figura 66 y 68**. Por otro lado, puntos los azules en corresponden a los esfuerzos biaxiales últimos en la variación de las frecuencias de excitación, y los negros, al de las variaciones de las aceleraciones sísmicas.

4.2.5.1. Columna 01 – 40x40

Correspondiente a la seleccionada de la estructura 01 entre el nivel 03 y 04 en la **Figura 65**, implicada en el plano de colisión principal con la estructura 02, la cual se muestra a continuación.

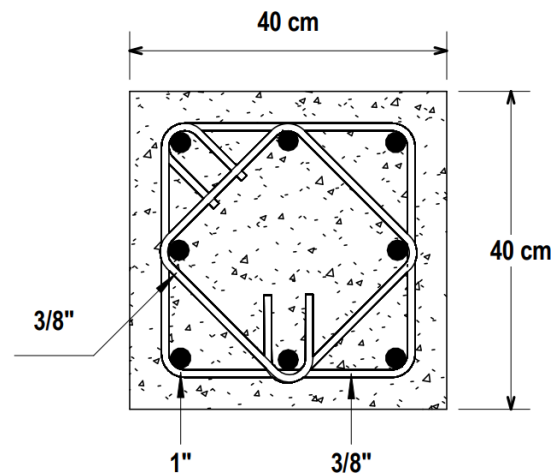


Figura 65: Columna 01 - 40x40 en estructura 01

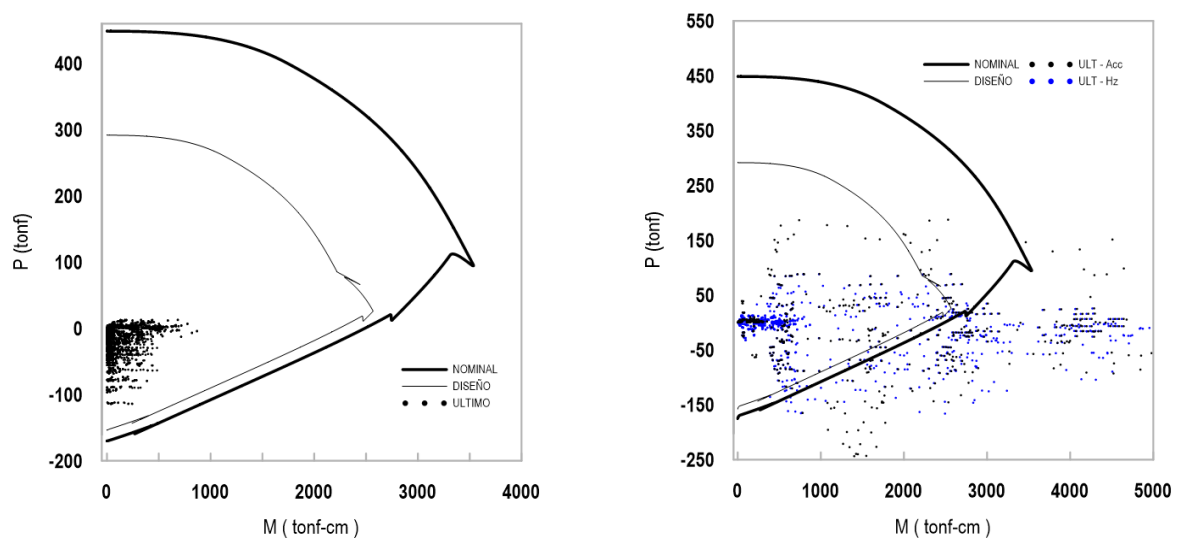


Figura 66: Diagrama de interacción columna 01 – de izquierda a derecha, pre y post colisión

4.2.5.2. Columna 02 – 60x60

Correspondiente a la seleccionada de la estructura 02 entre el nivel 03 y 04 en la **Figura 67**, implicada en el plano de colisión principal con la estructura 01, se muestra a continuación.

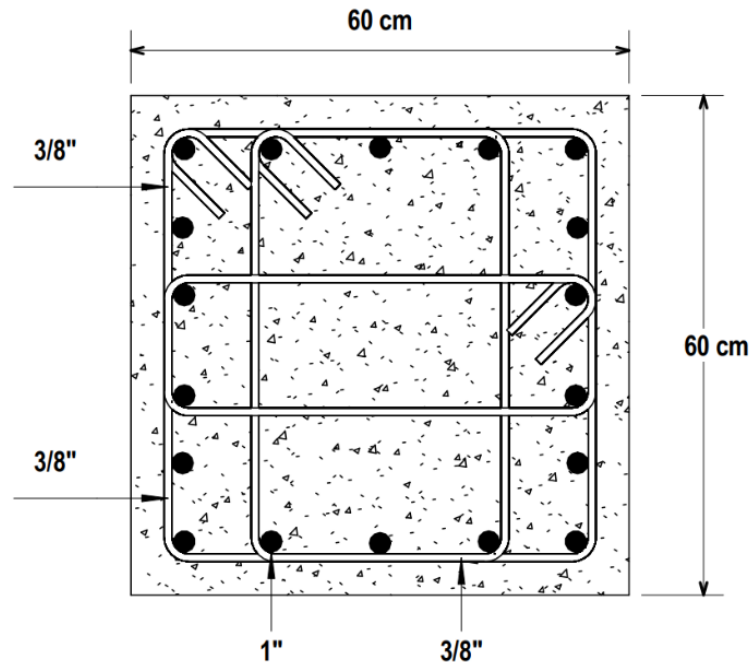


Figura 67: Columna 02 - 60x60 en estructura 02

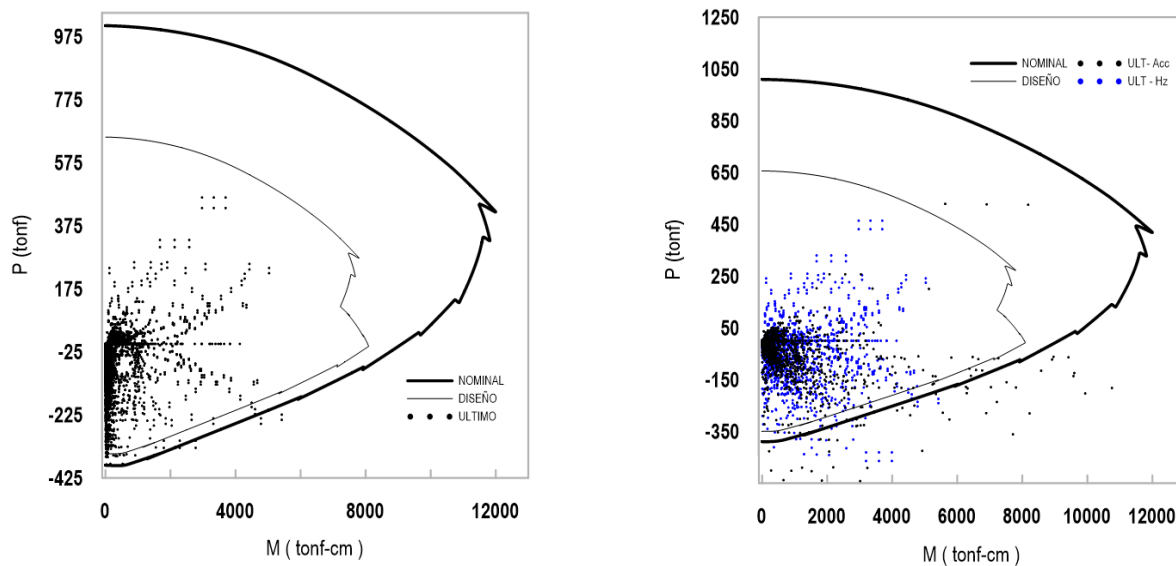


Figura 68: Diagrama de interacción columna 02 – de izquierda a derecha, pre y post colisión

Considerando que las columnas mantienen un factor de reducción de resistencia ϕ , y teniendo los siguientes resultados expuestos, las sollicitaciones considerando el *pounding*, representan los puntos fuera de la capacidad nominal de cada columna en al menos 10 combinaciones de carga según los resultados del software ETABS.



CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. CONTRASTE DE RESULTADOS CON LAS PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

En una conceptualización inicial del impacto entre estructuras por la colisión entre ellas en un evento sísmico, se formularon preguntas de investigación en base a un mapeo general de la literatura del pounding, a través de ello se llevó a cabo un lineamiento como guía para conllevar la investigación, siendo el tiempo transcurrido, el causal de la actualización y mejoramiento del entendimiento del problema del golpeteo entre estructuras por los eventos sísmicos. Como el reconocimiento de la importancia de contrastar los conceptos previos con los consolidados, se enlistaron las siguientes preguntas junto con sus propios juicios de valor.

PG: ¿Cuáles serán los efectos del golpeteo en la respuesta dinámica de dos estructuras adyacentes de concreto armado en la Ciudad de Cusco?

DG: Los impactos cuantificados en este caso como cargas laterales por acercamiento o de manera frontal, como resultado de la colisión entre estructuras adyacentes; alteran principalmente los parámetros de respuesta estructural de cada edificación colisionada, debido a las solicitaciones inesperadas que hacen frente por la insuficiente separación de junta sísmica presente entre ellas, amplificando desplazamientos, esfuerzos, aceleraciones, etc.

PE01: ¿Cómo afectará la variación de la cantidad de masa, la rigidez y calidad de material, en la respuesta dinámica de las estructuras adyacentes de concreto armado?

D01: A través del estudio, se introdujo un análisis de 1SDOF, considerando idealizaciones de estructuras y alterando sus propiedades físicas, y mecánicas con el fin de variar la masa, la rigidez y la calidad del material. La perturbación es factible y cabe mencionar que cada variable como la masa, la rigidez o la calidad del material, mencionados anteriormente, inducirán en variaciones de respuesta junto con cargas variables de impacto producto de la colisión, según lo estimado en el ítem 3.6.8. Análisis General.

PE02: ¿De qué dependerá la magnitud de la carga de impacto producto de la colisión entre las estructuras adyacentes de concreto armado?

D02: Las magnitudes dependen principalmente de las masas y las aceleraciones sísmicas, adicionalmente a eso, el espaciado de junta sísmica también incide en las cargas de impacto, pero, teniendo en consideración la transferencia de energía cinética en energía de



deformación, este concepto de la junta sísmica no es propiamente dependiente en su totalidad de la magnitud de la carga de impacto.

PE03: ¿Qué tipo de proporción existirá entre la magnitud de la carga de impacto y las diferentes juntas sísmicas para un mismo espectro y una frecuencia de excitación entre las estructuras adyacentes de concreto armado?

D03: La relación no es lineal ya que, según la investigación, el comportamiento es no estimable dentro de una proporción lineal, sino que a pesar que es incremental en función del espaciamiento, no sigue una proporcionalidad debido al desgaste energético que conlleva aumentar el desplazamiento, teniendo al final, una inferior cantidad de momentum para cada diafragma en desplazamiento, que colisiona con el próximo de manera frontal o por alcance.

PE04: ¿Cuánto aumentará la magnitud de la carga de impacto por el incremento de la aceleración del suelo?

D04: Esta consideración fue planteada por la amplificación de las ondas sísmicas producto de la presencia de una falla tectónica cerca de la localidad de estudio, se consideró un aumento lineal en función de la adición porcentual del factor de aceleración sísmica, resultando tal y como se propuso, un aumento proporcional al porcentaje adicionado.

PE05: ¿Cuál será el tipo de choque más desfavorable en la colisión entre las estructuras adyacentes de concreto armado?

D05: A través del estudio se ha estimado una cantidad de cargas de impacto, manteniendo entre ambos una diferencia de aproximadamente 20 tonf, sin embargo, el vector dirección de cada carga de impacto para cada caso, permitió conocer los efectos en la estructura colisionada, cuando coinciden vectores direccionales de desplazamientos o cuando no, siendo el que mayor incidencia tiene en las estructuras, la colisión por alcance, amplificando los desplazamientos de la estructura receptora y por lo tanto, aumentando los esfuerzos en los elementos estructurales.

PE06: ¿Serán respaldados los elementos en flexocompresión por los factores de reducción de resistencia al presentar esfuerzos no previstos?

D06: Los diagramas de interacción obtenidos en el estudio post colisión demostraron que a pesar que los factores de reducción de resistencia cubren una cantidad considerable de esfuerzos biaxiales, existe una dispersión de puntos (cargas), que están fuera de la capacidad



máxima del elemento estructural, pudiendo afectar de manera crítica el desempeño del mismo.

5.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS ENCONTRADOS

5.2.1. Análisis sísmico

5.2.1.1. Periodos y frecuencias

Las estructuras de concreto armado idealizadas presentan periodos estructurales y frecuencias naturales de 0.52 segundos y 1.94 Hz, 1.43 segundos y 0.70 Hz, para la estructura 01 de 04 niveles, y la 02 de 15 niveles respectivamente. Cabe destacar que estas magnitudes son proporcionales a la altura y a la configuración estructural de cada sistema y que, en el análisis modal, estos valores corresponden a los del MODO 01, siendo los demás, variables a estas magnitudes. Estos parámetros permitieron identificar las frecuencias de excitación más próximas a las frecuencias naturales de cada sistema, permitiendo el análisis con la respuesta sísmica de mayor magnitud para cada parámetro. Un aspecto a comentar es la no variación de los periodos y frecuencias naturales en el análisis por espectro de respuesta y del tiempo historia en base a una función *cos* con amplitud constante $ZUCS/R$, siendo el motivo, la propiedad intrínseca de cada estructura que no es afectada por solicitaciones externas, la rigidez, que está en base a la inercia, el módulo de elasticidad y la longitud de la estructura.

5.2.1.2. Aceleraciones en los sistemas estructurales

Las aceleraciones en sollicitación sísmica con espectro de respuesta y tiempo-historia en base a la función *SIN* con amplitud constante $ZUCS/R$, son variables, dado que ambas perturban a la estructura de diferente forma, siendo la primera con el espectro de pseudo - aceleración sísmica con valores de 149.98 s/cm^2 y 72.25 s/cm^2 , para la estructura 01 y 02 respectivamente; y la segunda con la frecuencia de excitación sísmica próxima a la frecuencia natural de vibración de cada estructura, amplificando la respuesta de las mismas con magnitudes de 94.68 s/cm^2 y 225.95 s/cm^2 , para la estructura 01 y 02 respectivamente.

5.2.1.3. Derivas y desplazamientos

Estos parámetros se ajustaron en base a los límites de distorsión máxima de entrepiso según la NTP E.030, considerando un margen minúsculo entre el límite de modo que las estructuras idealizadas propongan una ejemplificación de la realidad, donde aproximarse al límite, se traduce en reducción de recursos. Los valores máximos de derivas en el análisis con espectro



de pseudo – aceleración fueron de 0.0035, y 0.0060 para la estructura 01 y 02 respectivamente en el caso de la variación del factor de aceleración sísmica, y por el otro lado, 0.0032 y 0.0092 en el caso de la variación de las frecuencias de excitación. Cabe aclarar que no se propuso el análisis tiempo - historia con la función coseno con amplitud constante $ZUCS/R$, como respuesta principal para la implementación de los límites de distorsión máximos de entrepiso, sino que fue a través del espectro de pseudo – aceleración. Es por ello que el valor de 0.0092 se desestima y su uso fue con el fin de incorporarlo solamente como parámetro secundario dentro del análisis de interacción en la colisión entre las dos estructuras de concreto armado.

5.2.2. Análisis de interacción

5.2.2.1. Coeficientes de restitución

El estudio de las colisiones en sólidos ofrece la explicación de 03 tipos eventos, las colisiones elásticas, las elasto - plásticas y las plásticas, cabe recalcar que en la realidad se desestima la primera ya que por la segunda ley de Newton, la cantidad de movimiento es inerte a cualquier objeto con masa sea constante o variable, y con la colisión entre dos cuerpos, la transferencia de energía resulta en energía cinética y energía de deformación, siendo el primero una transferencia de momentum o cantidad de movimiento y el segundo una deformación plástica posterior a la colisión entre los cuerpos. Para el caso de la variación de aceleración sísmica, la pérdida de energía va desde 0.37 hasta 0.19 al nivel 04 de manera progresiva, y para el caso de la variación de frecuencia de excitación, existe variación en función de la frecuencia y también de cada nivel, siendo el valor más alto o de menor pérdida, 0.86 para el nivel 04 con frecuencia de 0.50Hz y el menor, 0.03 para el nivel 04 de igual manera, pero con frecuencia de 8.00Hz. Es decir que siempre existe una reducción de energía cinética en las colisiones, que, durante el choque, se transforma en energía de deformación.

5.2.2.2. Velocidad de onda compresional

Las ondas de compresión son perturbaciones de los materiales que se presentan durante la colisión, iniciando al instante del impacto y propagándose en este caso, en los diafragmas de los planos en los niveles en contacto. Esta velocidad está en función del Módulo de Elasticidad y la densidad, ambos del material predominante, en este caso, concreto armado que es variable entre resistencias de 210 y 280 kg/cm^2 , habiendo sido obtenido la velocidad de onda compresional para el concreto 210 kg/cm^2 de 2 981 m/s, y 3 203 m/s para el de 280 kg/cm^2

5.2.2.3. Periodos de colisión



Las velocidades de colisión pertinentes a cada diafragma tienen un inicio y un fin, completando unos ciclos, la tendencia es la reducción hasta la eliminación de la perturbación. Considerando ese criterio, los periodos de colisión hacen referencia al tiempo de cada ciclo de salida y llegada de la onda compresional, considerando solamente el primer ciclo ya que este es el que más energía mantiene. En el caso de ambos diafragmas, se identificaron periodos de colisión de 0.17 y 0.28 s, para la estructura 01 y 02, respectivamente.

5.3. APORTES DE LA INVESTIGACIÓN

5.3.1. Aportes de la investigación

Se realizó el modelamiento en elementos finitos de dos sistemas estructurales con uso de edificaciones que idealizaron dos esquemas mecánicos en colisión de forma frontal y por alcance con cargas de impacto colineales entre sí de manera horizontal.

En el desarrollo de la investigación se presenta un diagrama de flujo que permite comprender de manera lógica y secuencial, el procedimiento para estimar dichas cargas y emplearlas en un modelamiento post colisión.

- La comprensión del fenómeno de impacto podrá influenciar en los profesionales involucrados a mantener vigente la consideración de la ausencia de junta sísmica pertinente a la separación entre dos estructuras de concreto armado.
- Las consideraciones de desplazamientos permiten comprender que a menor flexibilidad, mayor probabilidad de golpeteo, siendo este criterio un motivo para rigidizar estructuras con elementos de ductilidad limitada, arriostres diagonales, metodologías de reforzamiento estructural, entre otros; para así reducir dicha probabilidad de que las estructuras hagan frente a los efectos del golpeteo o pounding, estudiados en la presente investigación.

5.3.2. Comprensión conceptual

5.3.2.1. Entendimiento del evento de colisión

Recapitulando la conceptualización de la colisión, se hace referencia al instante posterior al impacto, si se considera la relación $\delta > 0$, cuando inicia el evento de colisión. Al producirse el impacto, ambos diafragmas en contacto experimentan una superposición frontal que, de manera cuantificable, se traduce en cargas laterales, cargas de impacto o superposición



inercial de las masas. Debido a estas cargas, las respuestas sísmicas de las estructuras se ven alteradas dado que el vector direccional de la carga va a implicar restricciones de movimiento o amplificaciones del mismo. En los eventos de colisión se pueden presentar ambos casos, donde una estructura se superpone a la siguiente de manera lateral, mientras que, en el segundo caso, ocurre una oposición mutua de las estructuras, viéndose así en una colisión frontal que implica una restricción total del movimiento. Una consideración importante dentro del análisis corresponde a la inclusión de las cargas para dos tipos de variaciones, la del factor de aceleración sísmica Z_2 entre [0% - 100%], y la de frecuencias de excitación que oscila entre [0.25Hz – 8.00 Hz]. En ambos casos las cargas difieren en tan solo 0.74 ton-f, ejerciendo 151.52 ton-f la del factor de aceleración sísmica y 150.78 ton-f la de frecuencias de excitación. El criterio de asignación de cargas sigue la siguiente lógica, para ambos casos, la carga de 151.52 ton-f fue asignada de izquierda a derecha y de derecha a izquierda, siendo el primero en el caso en el que la estructura 01 impacta a la 02 y viceversa.

5.3.2.2. Entendimiento de los periodos y frecuencias en ΔZ_2 y ΔHz

5.3.2.2.1. Similitud entre ΔZ_2 y ΔHz

Los periodos y frecuencias naturales de las estructuras en ambas estructuras pasaron de ser de 0.52s y 1.43s para la estructura 01 y 02 respectivamente, a 0.52s y 1.19s para cada una, viéndose ligeramente afectada la estructura 02 considerando la colisión, aduciendo un menor tiempo para completar un ciclo de desplazamiento.

5.3.2.3. Entendimiento las derivas y los desplazamientos en ΔZ_2 y ΔHz

5.3.2.3.1. Variación del Z_2

La máxima distorsión lateral de entrepiso antes del choque fue de 0.0035 y 0.0062 para la estructura 01 y 02 con desplazamientos acumulados de 1.81cm y 7.54cm, mientras que ocasionada la colisión, la máxima deriva de la primera estructura supero lo límites máximos mediante la superposición del diafragma 03 de la estructura 02, teniendo un valor de 0.0476 con 45.34cm, y por el otro lado, la segunda estructura tuvo una deriva de 0.0096 en el diafragma 03 en el caso en el que la estructura 01 es apoyada en la 02, de izquierda a derecha, con un desplazamiento de 6.02cm.

5.3.2.3.2. Variación del Hz



La máxima distorsión lateral de entrepiso antes del choque fue de 0.0032 y 0.0092 para la estructura 01 y 02 con desplazamientos acumulados de 1.77cm y 9.42cm, mientras que ocasionada la colisión, la máxima deriva de la primera estructura supero lo límites máximos mediante la superposición del diafragma 03 de la estructura 02, teniendo un valor de 0.0473 con 45.12cm, y por el otro lado, la segunda estructura tuvo la misma deriva de 0.0092 en el diafragma 11 en el caso en el que la estructura 01 es apoyada en la 02, de izquierda a derecha, con un desplazamiento a ese nivel de 21.49cm. Cabe recalcar que a pesar que la deriva es la misma, hay una acumulación de excedentes provenientes desde entrepisos inferiores, los cuales aumentan el desplazamiento total del entrepiso 11.

5.3.2.4. Entendimiento de las aceleraciones en sistemas estructurales en ΔZ_2 y ΔH_z

Las aceleraciones tuvieron una amplificación cuando la colisión fue por alcance, en el caso donde la carga de impacto y el desplazamiento de cada estructura estaban en la misma dirección, mientras que, en el caso contrario, donde la carga de impacto tuvo la dirección opuesta al desplazamiento de cada estructura, la aceleración tuvo una reducción en el diafragma de contacto por el impacto, y en los demás diafragmas, una amplificación producto de la inercia inherente a cada masa en traslación. En el caso de la variación de aceleración sísmica, en el plano en colisión restricción de movimiento (CASO 02), la aceleración de la estructura 01 paso de ser 149.98cm/s² a 61.97cm/s², reduciéndose en un 58.68%, la aceleración de la estructura 02, de 72.25cm/s² a 89.52cm/s², amplificándose en un 23.90%. En el caso de la variación de frecuencias de excitación, las aceleraciones pasaron de ser 99.26cm/s² y 225.95cm/s², a 88.42cm/s² y 131.36cm/s², reduciéndose un 10.92% y 41.86% para la estructura 01 y 02 respectivamente.

5.3.2.5. Entendimiento de las resistencias requeridas en ΔZ_2 y ΔH_z

La incorporación de las cargas de impacto dentro del análisis estructural posterior a la colisión establece que, si bien es cierto, algunos esfuerzos axiales están por fuera del cascaron de capacidad, la mayoría de puntos están más dispersos en comparación sin las cargas de colisión, motivo por el cual, es notable que las cargas de impacto amplifican las cargas presentes en el diagrama de interacción de los elementos a flexocompresión.



GLOSARIO

<i>Aceleración sísmica:</i>	Medida de las aceleraciones en la superficie del suelo, que se propagan producto de las ondas sísmicas durante los terremotos.
<i>Aceleración estructural:</i>	Variación de la velocidad de un sistema estructural por unidad de tiempo.
<i>Amortiguamiento:</i>	Modo de disipación de energía mecánica en un sistema estructural.
<i>Amplitud:</i>	De un movimiento oscilatorio, es la variación máxima de una magnitud que entra en dependencia del tiempo.
<i>Análisis modal:</i>	Estudio y determinación de los patrones de movimiento o vibraciones características de un sistema estructural.
<i>Cantidad de movimiento:</i>	Cuantificación del movimiento de un cuerpo.
<i>Capacidad de resistencia:</i>	Suficiencia intrínseca de un elemento estructural sometido ante diferentes sollicitaciones.
<i>Capacidad de deformación:</i>	Facultad de un elemento estructural diseñado en base a un comportamiento que fomenta una deformación plástica del miembro.
<i>Carga gravitacional:</i>	Solicitación propia de la acción de la gravedad.
<i>Carga perpendicular:</i>	En el estudio de colisiones, las sollicitaciones perpendiculares hacen referencia a las cargas con vector y dirección perpendicular al plano analizado en dos dimensiones, siendo este relativo en el análisis en tres dimensiones.
<i>Coefficiente de Poisson:</i>	Parámetro intrínseco de los materiales estructurales que miden las relaciones entre las deformaciones longitudinales con respecto a las fuerzas aplicadas en sentido transversal y longitudinal al elemento estructural.
<i>Coefficiente de restitución:</i>	Valor que cuantifica el estado de la energía cinética de dos cuerpos durante una colisión.
<i>Condición de entorno:</i>	Término relacionado a las condiciones donde se ubica un sistema estructural, considerando el nivel de estabilidad, movimiento libre y restringido, el empotramiento total o parcial, entre otros.
<i>Deriva:</i>	Desplazamiento relativo de entre piso



<i>Desplazamiento:</i>	Movimiento de un cuerpo con respecto a un origen y su objetivo.
<i>Diafragma rígido:</i>	Sistema compuesto por elementos estructurales con la capacidad de desplazarse horizontalmente sin provocar una distorsión angular en cada elemento estructural horizontal.
<i>Diagrama de interacción:</i>	Gráfico que demuestra la capacidad biaxial de una columna de concreto armado.
<i>Disipación de energía:</i>	Método de liberación de energía.
<i>Energía cinética:</i>	Energía propia del movimiento
<i>Energía de deformación:</i>	Energía que provoca deformación en un cuerpo.
<i>Esfera equivalente:</i>	Idealización de un diafragma rígido en base a sus propiedades físico mecánicas.
<i>Esfuerzo biaxial:</i>	Combinación entre dos cargas que actúan en un mismo elemento estructural, generando esfuerzos combinados.
<i>Esfuerzo actuante:</i>	Cargas actuantes que actúan en una unidad de área.
<i>Evento de colisión:</i>	Acontecimiento en el cual, dos estructuras colisionan entre sí producto de una sollicitación dinámica.
<i>Factor de aceleración sísmica:</i>	Valor que, en base a una zonificación sísmica, ajusta la aceleración de un movimiento sísmico en un lugar determinado.
<i>Factor de reducción de resistencia:</i>	Factor de seguridad en el diseño de elementos estructurales
<i>Falla tectónica:</i>	Fractura en la corteza terrestre propio de la gravedad o empujes horizontales.
<i>Flexocompresión:</i>	Condición en la cual, un elemento estructural es sometido a la combinación de dos esfuerzos en un mismo instante producto de las cargas axiales y los momentos flectores.
<i>Frecuencia de excitación:</i>	Repetición de movimientos que inducen a un sistema estructural a manifestarse
<i>Frecuencia natural de vibración:</i>	Movimiento repetitivo natural de un sistema estructural, donde manifiesta energéticamente sus parámetros de respuesta
<i>Fuerza inercial:</i>	Fuerza característica producto de la traslación de masas.



GAL:	Unidad del Sistema Internacional para la aceleración de la gravedad, expresado en GAL
Grados de libertad:	Patrón de movimientos naturales de los sistemas estructurales.
Impacto estructural:	Acción en la cual, dos estructuras se aproximan entre si hasta lograr un contacto.
Interacción estructural:	Interrelación mecánica, física o energética entre dos sistemas estructurales
Iteración:	Sucesión de procesos para obtener un resultado aproximado.
Junta de separación sísmica:	Espaciamiento dedicado para los libres desplazamientos entre la colindancia de dos estructuras.
Masa:	Cantidad de materia en un cuerpo en general.
Mecanismo de colisión:	Artefacto que demuestra teóricamente el evento de colisión entre dos sistemas estructurales.
Modos de vibración:	Patrón de movimientos o vibraciones características de un sistema mecánico.
Módulo de elasticidad:	Constante de proporcionalidad entre esfuerzo y deformación.
Oscilación:	Perturbación de un sistema en dependencia del tiempo, considerando un movimiento constante con respecto a una posición central.
Periodo fundamental de vibración:	Tiempo relativo en el cual, un sistema estructural cumple un ciclo de movimiento, se desplaza y hace traslación a un origen, de ida y regreso hasta volver nuevamente al origen.
Periodo de colisión:	Tiempo en el cual, la onda compresional cumple un ciclo de movimiento en el cuerpo colisionado, en su posición inicial y su respectivo retomo.
Pounding:	Golpeteo entre sistemas estructurales.
Resistencia a la compresión:	Capacidad de un elemento estructural a soportar cargas axiales por unidad de área.
Resistencia nominal:	Capacidad admisible de un elemento estructural en base a un diseño considerando las propiedades físicas y mecánicas de los materiales del elemento.



Resonancia estructural:	Fenómeno que provoca una amplificación de la amplitud producto de la interacción y proximidad sin desfase, de las frecuencias de excitación con las frecuencias naturales de vibración.
Rigidez:	Propiedad intrínseca de los materiales estructurales, el cual denota una resistencia u oposición a la deformación.
Rigidez axial:	Resistencia a la deformación en el plano perpendicular al vector sentido y dirección de la sollicitación.
Sistema 1SDOF:	Sistema de 01 grado de libertad.
Sistema MDOF:	Sistema de múltiples grados de libertad
Sollicitación dinámica:	Acción variable que repercute en ciclos de carga de magnitud variable.
Superposición de masas:	Convergencia de masas desplazadas en un punto, siendo ambas superpuestas entre sí.
Velocidad de colisión:	Magnitud de movimiento relativo en la colisión entre estructuras.
Velocidad de onda compresional:	Magnitud que hace referencia al movimiento de la onda de compresión, la cual diverge del origen del impacto y retorna del extremo opuesto nuevamente al origen.
Velocidad post – colisión:	Magnitud de movimiento que refiere a la velocidad posterior a la colisión, considerando la pérdida de energía producto de su transferencia a energía de deformación.
Velocidades relativas:	Magnitudes relativas de movimientos producto del impacto, siendo catalogado por la variación de la velocidad en la interrelación de la velocidad de colisión y las velocidades iniciales.
Vibración:	Propagación de ondas que generan esfuerzos internos sobre sistemas estructurales, cuerpos o medios continuos.
ZUSC/R:	Factor propio para ajustar la cortante en la base de una estructura dentro del análisis estático equivalente o para ajustar la aceleración en función de la gravedad, en ambos casos, considerado el factor de reducción por ductilidad R.



CONCLUSIONES

En base a la presente investigación realizada en la tesis de grado con respecto al *pounding* y su implicancia en cada respuesta estructural, las conclusiones son las siguientes:

Conclusión 01:

HG: *“El golpeteo entre las estructuras adyacentes causa una respuesta sísmica inesperada, amplificando principalmente los desplazamientos, las aceleraciones de los diafragmas y los esfuerzos internos de los elementos estructurales.”*

Los parámetros de respuesta aumentan y se reducen dependiendo del tipo de choque y si bien las cargas de impacto varían entre 0 – 151.52 tonf, la amplificación de la respuesta es directamente proporcional a la magnitud de las cargas.

Conclusión 02:

HE01: *“Los sistemas estructurales de 1SDOF con mayor masa y menor rigidez tendrán mayores desplazamientos, mientras que, lo contrario inducirá a menores desplazamientos y mayores esfuerzos internos.”*

La subhipótesis es válida. La carga de impacto es inversamente proporcional a la rigidez del sistema estructural, teniendo valores de entre 25.64 – 37.00 tonf por alcance y entre 3.82 – 3.96 tonf de manera frontal en 1SDOF.

Conclusión 03:

HE02: *“La magnitud de la carga de impacto variará en función de la cantidad de masa, del periodo de vibración, de la calidad de los materiales, de la junta sísmica y de las frecuencias de excitación para una misma amplitud.”*

La masa, el periodo y la calidad del material son variables incidentes en la cuantificación de la carga de impacto, mientras que el GAP es inversamente proporcional dado que, a mayor distancia a recorrer para impactar, mayor gasto de energía cinética tendrá.



Conclusión 04:

HE03: *“No existe una proporcionalidad lineal entre la magnitud de la carga de impacto y las diferentes juntas sísmicas, para un mismo espectro de respuesta y una frecuencia de excitación entre ellas.”*

Las cargas no son dependientes de la junta sísmica, ya que la variación de la misma está relacionada y en función de tres variables importantes; la velocidad de colisión, el coeficiente de amortiguamiento y la transformación de energía cinética en energía de deformación.

Conclusión 05:

HE04: *“El incremento de la aceleración del suelo implicará en una carga de impacto mayor.”*

A mayor variación del Z2, mayor desplazamiento de masa en cada diafragma, y a mayor desplazamiento de masa, mayor fuerza se ejerce en el diafragma, y al impactar otro diafragma, mayor desplazamiento relativo junto con una mayor deformación relativa existirá.

Conclusión 06:

HE05: *“La colisión se presenta de manera frontal y por alcance; siendo el segundo, el más desfavorable debido a que amplifica los desplazamientos de la estructura receptora.”*

La colisión por alcance provoca una amplificación de desplazamientos críticos para la estructura 01, mientras que en la estructura 02 genera una variación importante más no considerable para los límites de distorsión permisibles según el sistema estructural.

Conclusión 07:

HE06: *“El factor de reducción de resistencia en el diseño de los elementos en flexocompresión, no cobertura los nuevos esfuerzos actuantes cuando se presente la colisión en el escenario de choque por alcance.”*

Posterior a la colisión, encontramos un escenario en el cual algunas combinaciones de carga se encuentran ligeramente fuera del diagrama de interacción y otras, sobrepasando los factores de reducción de resistencia, exponiendo la capacidad de la columna a presentar un comportamiento no lineal siendo plastificado por dichas cargas inesperadas, sometiendo al elemento a esfuerzos normales críticos para su capacidad según su diseño estructural.



RECOMENDACIONES

Recomendación 01:

Ahondar con un análisis específico en temas de desempeño sísmico considerando la carga de impacto, o someter un registro tiempo historia de un sismo local, con el fin de estudiar el comportamiento con un antecedente sísmico.

Recomendación 02:

Aplicar el estudio de 1SDOF para el análisis de los esfuerzos normales en pórticos idealizados, considerando las cargas laterales producto de la colisión entre las estructuras de concreto armado.

Recomendación 03:

Estudiar de que otras variables está en dependencia la carga de impacto, tomando en consideración que la junta sísmica y la respuesta estructural de cada sistema, afectan de manera directa a las magnitudes de las cargas de impacto.

Recomendación 04:

Estudiar el nivel de proporcionalidad en la relación entre las cargas de impacto y las juntas sísmicas, considerando cada variable estudiada y obtener curvas mediante métodos numéricos para comprender de manera más analítica la relación entre dichas variables

Recomendación 05:

Estudiar el peligro sísmico de la Ciudad de Cusco, para así ajustar la variabilidad de la aceleración sísmica ya que, en la presente investigación, se idealiza una amplificación del 100% de manera teórica y demostrativa.

Recomendación 06:

Estudiar el nivel de daño en áreas con interfaces de contacto, dado que el esfuerzo axial supondrá una plastificación del material, lo cual implicaría en niveles de daño, siendo este un nuevo criterio de exploración para el tema del golpeteo entre estructuras adyacentes de concreto armado.

Recomendación 07:

Se recomienda un análisis en nodos entre las vigas y las columnas, las cuales ofrecen un grado de rigidez al sistema estructural. La verificación de columna fuerte – viga débil podría ser abarcado en tal análisis y así estudiar de manera más detallada el comportamiento de los elementos estructurales sometidos a cargas inesperadas producto de la colisión entre ellas.



REFERENCIAS

- American Society of Civil Engineers. (2017). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Others Structures. In S. E. Institute. Reston, Virginia: ASCE.
- Barghi, M., & Azadbakht, M. (2011). Evaluating the effect of masonry infills on natural period of buildings with moment-resisting frame. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. Vol. 20. No 6, 649-660.
- Castillo, S. J., & Flores, J. H. (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*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Celigüeta-Lizarza, J. T. (2011). Método de los elementos finitos para análisis estructural.
- CHOPRA, A. K. (1980). DYNAMICS OF STRUCTURES. PASADENA: A PRIMER.
- Cole, G., Dhakal, R., Carr, A., & Bull, D. (2011). An investigation of the effects of mass distribution on pounding structures. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, vol 40, no 6, 641-659.
- Fernandez, C., Baptista, L., & Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. Editorial McGraw Hill.
- Goicolea, J. (2000). Estructuras sometidas a impacto. *Estructuras sometidas a acciones dinámicas*, 535-567.
- Harmsen, T. E. (2017). *Diseño de estructuras de concreto armado* (Vol. 5). Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.
- Jankowski, R. (2006). Pounding force response spectrum under earthquake excitation. *Engineering Structures*, vol. 28, no 8, 1149-1161.
- Kubler, G. (1952). *Cuzco: reconstrucción de la ciudad y restauración de sus monumentos*. UNESCO.
- Maison, B., & Kasai, K. (1992). Dynamics of pounding when two buildings collide. *Earthquake engineering & structural dynamics*. Vol. 21. No 9, 771-786.



- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). Artículo 29.- Análisis dinámico modal espectral. In SENCICO, *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES* (pp. 28-29). Lima: SENCICO.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). Artículo 30.- Análisis dinámico tiempo-historia. In SENCICO, *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES* (pp. 29-30). Lima: SENCICO.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). Artículo 31.- Determinación de desplazamientos laterales. In SENCICO, *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES* (p. 31). Lima: SENCICO.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). Artículo 32.- Desplazamientos laterales relativos admisibles. In SENCICO, *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES* (p. 31). Lima: SENCICO.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). Artículo 33.- Separación entre edificios (s). In SENCICO, *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES* (pp. 31-31). Lima: SENCICO.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). NORMA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE. En SENCICO, *REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES* (págs. 26-28). Lima: SENCICO.
- Mohammed, J., A.B.M., S. I., Raja, R. H., Syed, D. H., & M., K. (2011). *Análisis no lineal con el método de elementos finitos del golpeteo inducido por sismos entre estructuras vecinas de varios pisos*. Malasia, Arabia Saudita e India, Arabia Saudita e India: Universidad de Malaya, Universidad King Saud y Universidad Aligarh Muslim.
- Sosa, W. J. (2019). *CORRELACIÓN ENTRE LA ACELERACIÓN MÁXIMA DEL SUELO Y LA*. Trujillo, Perú: UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO.
- UNAM. (1 de Octubre de 2022). *Divulgación*. Obtenido de SSN SERVICIO SISMOLÓGICO NACIONAL: <http://www.ssn.unam.mx/divulgacion/preguntas/>
- Vielma, J. C., Barrios, A., & Alfaro, A. (2013). *Evaluación numérica de la respuesta sísmica de edificio dañado por el*. Barquisimeto: INGENIERÍA UC.



- Virbhadra, K. S. (1991). A comment on the energy-momentum pseudotensor of Landau and Lifshitz. *Physics Letters A. Vol. 157. No 4-5*, 195-197.
- Wolf, J., & Skrikerud, P. (1980). Mutual pounding of adjacent structures during earthquakes. *Nuclear Engineering and Design vol. 57*, 253-275.
- Yang, Y., & Xie, L. (2011). *Comparación del modelo Hertz-Damp inicial y mejorado para la simulación del golpeteo estructural*. Harbin, China: Instituto de Tecnología Harbin.
- Yauri, S., & B. Z. (2016). ESCENARIO DE RIESGO SÍSMICO Y MOVIMIENTOS EN MASA. *XVIII Congreso Peruano de Geología*, 1.
- Zhao, D., & Liu, Y. (2016). Improved damping constant of Hertz-Damp model for pounding between structures. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016.



ANEXOS

En la presente parte se adjuntan las hojas de cálculo en el Análisis General para 1SDOF, para la variación del factor de aceleración sísmica y para el de frecuencias de excitación.

Análisis general para 1SDOF

Story	T ₁	T ₂	m ₁	m ₂	x ₁	x ₂	Vx ₁	Vx ₂	\dot{x}_1	\dot{x}_2	GAP ₁	x ₁	x ₂	K ₁	K ₂	\ddot{x}_1	\ddot{x}_2	e	t ₁	t ₂
	[s]	[s]	[tonfs ² /cm]	[tonfs ² /cm]	[cm]	[cm]	[tonf]	[tonf]	[cm/s]	[cm/s]	[cm]	[cm]	[cm]	[tonf/cm]	[tonf/cm]	[cm/s ²]	[cm/s ²]	[A]	[s]	[s]

MASAS VARIABLES EN CADA DIAFRAGMA (Vivienda y Comercio)

Top	0.16	0.16	0.03	0.03	0.06	0.07	3.08	3.32	3.04	3.16	VARIABLE	0.29	0.42	10.57	7.94	3.15	3.03	-0.02	0.10	0.12
Bottom	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

PERIODOS VARIABLES EN CADA DIAFRAGMA (S1=5.00m y S2=3.50m)

Top	0.26	0.16	0.03	0.03	0.06	0.07	3.23	3.32	5.07	3.16	VARIABLE	0.29	0.42	11.07	7.94	3.30	5.21	0.23	0.10	0.12
Bottom	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

CALIDAD DE CONCRETO VARIABLE EN CADA DIAFRAGMA (S1=210 kg/cm² y S2=280 kg/cm²)

Top	0.17	0.16	0.03	0.03	0.06	0.07	3.32	3.32	3.39	3.16	VARIABLE	0.29	0.42	11.38	7.94	3.18	3.41	0.04	0.10	0.12
Bottom	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

JUNTA DE SEPARACIÓN SÍSMICA VARIABLE ENTRE DIAFRAGMAS 0.50cm

Top	0.16	0.16	0.03	0.03	0.06	0.07	3.08	3.32	3.04	3.16	VARIABLE	0.29	0.42	10.57	7.94	3.15	3.03	-0.02	0.10	0.12
Bottom	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

FRECUENCIA DE EXCITACIÓN VARIABLE (4Hz y 8Hz)

Top	0.16	0.16	0.03	0.03	0.06	0.07	1.56	1.73	0.59	1.29	VARIABLE	0.29	0.42	5.36	4.14	1.24	0.54	-0.37	0.14	0.16
Bottom	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Story	h ₁	h ₂	R ₁	R ₂	c ₁	c ₂	d ₁	d ₂	K1	K2	K3	K4	K5	PERDIDA DE ENERGIA	K _h	d	C _h	v _c	SENTIDO
	[cm]	[cm]			[cm/s]	[cm/s]	[cm]	[cm]							[tonf/cm]	[cm]	[tonf-s/cm]	[cm/s]	

MASAS VARIABLES EN CADA DIAFRAGMA (Vivienda y Comercio)

Top	0.00	0.00	135	138	320311	298083	-0.0048	-0.0052	19	211	11	1057	1313	0.61	0.82	388.34	VARIABLE	0.19	1542.67	1.00
Bottom	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00

PERIODOS VARIABLES EN CADA DIAFRAGMA (S1=5.00m y S2=3.50m)

Top	0.00	0.00	137	138	320311	298083	-0.0049	-0.0052	19	221	11	1107	1318	0.22	0.82	392.31	VARIABLE	0.18	1563.36	1.00
Bottom	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00

CALIDAD DE CONCRETO VARIABLE EN CADA DIAFRAGMA (S1=210 kg/cm² y S2=280 kg/cm²)

Top	0.00	0.00	138	138	320311	298083	-0.0047	-0.0050	19	228	11	1138	1321	0.49	0.82	394.78	VARIABLE	0.20	1501.18	1.00
Bottom	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00

JUNTA DE SEPARACIÓN SÍSMICA VARIABLE ENTRE DIAFRAGMAS 0.50cm

Top	0.00	0.00	135	138	320311	298083	-0.0048	-0.0052	19	211	11	1057	1313	0.61	0.82	388.34	VARIABLE	0.19	1542.67	1.00
Bottom	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00



FRECUENCIA DE EXCITACIÓN VARIABLE (4Hz y 8Hz)

Top	0.00	0.00	138	138	320311	298083	-0.0019	-0.0020	10	107	5	536	1321	1.00	1.00	360.76	VARIABLE	0.38	607.37	1.00
Bottom	0.00	0.00	0	0	0	0	0.0000	0.0000	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	

Análisis general para ΔZ_2

Z	Story	T ₁	T ₂	m ₁	m ₂	x ₁	x ₂	Vx ₁	Vx ₂	ẋ ₁	ẋ ₂	GAP ₁	x ₁	x ₂	K ₁	K ₂	ẋ' ₁	ẋ' ₂	e	t ₁	t ₂
		[s]	[s]	[tonfs2/cm]	[tonfs2/cm]	[cm]	[cm]	[tonf]	[tonf]	[cm/s]	[cm/s]	[cm]	[cm]	[cm]	[tonf/cm]	[ton/cm]	[cm/s]	[cm/s]	[A]	[s]	[s]
0%	Story 15	1.43	0.00	0.31	0.00	3.75	0.00	40.00	0.00	0.00	0.00		16.85	0.00	2.37	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.73	0.00
0%	Story 14	1.43	0.00	0.46	0.00	3.58	0.00	82.02	0.00	0.00	0.00		16.10	0.00	5.09	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.60	0.00
0%	Story 13	1.43	0.00	0.46	0.00	3.40	0.00	114.21	0.00	0.00	0.00		15.29	0.00	7.47	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.50	0.00
0%	Story 12	1.43	0.00	0.46	0.00	3.19	0.00	139.75	0.00	0.00	0.00		14.37	0.00	9.72	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.43	0.00
0%	Story 11	1.43	0.00	0.46	0.00	2.97	0.00	160.68	0.00	0.00	0.00		13.36	0.00	12.03	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.39	0.00
0%	Story 10	1.43	0.00	0.46	0.00	2.72	0.00	178.52	0.00	0.00	0.00		12.23	0.00	14.60	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.35	0.00
0%	Story 9	1.43	0.00	0.46	0.00	2.45	0.00	194.48	0.00	0.00	0.00		11.00	0.00	17.67	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.32	0.00
0%	Story 8	1.43	0.00	0.46	0.00	2.15	0.00	209.44	0.00	0.00	0.00		9.69	0.00	21.62	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.29	0.00
0%	Story 7	1.43	0.00	0.46	0.00	1.84	0.00	223.96	0.00	0.00	0.00		8.30	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.26	0.00
0%	Story 6	1.43	0.00	0.46	0.00	1.52	0.00	238.21	0.00	0.00	0.00		6.86	0.00	34.74	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.23	0.00
0%	Story 5	1.43	0.00	0.46	0.00	1.20	0.00	251.96	0.00	0.00	0.00		5.40	0.00	46.64	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.20	0.00
0%	Story 4	1.43	0.48	0.48	0.14	0.88	0.43	265.42	19.01	5.01	7.35		3.97	2.60	66.79	7.30	5.72	3.38	-18.93%	0.17	0.28
0%	Story 3	1.43	0.48	0.48	0.20	0.58	0.33	276.95	37.33	3.56	5.63		2.63	2.01	105.26	18.58	4.44	2.37	-22.52%	0.14	0.21
0%	Story 2	1.43	0.48	0.48	0.20	0.32	0.23	285.45	49.99	2.13	3.87		1.45	1.37	196.69	36.49	2.88	1.14	-29.00%	0.10	0.15
0%	Story 1	1.43	0.48	0.48	0.21	0.12	0.11	289.89	57.06	0.86	1.88		0.54	0.65	539.07	88.46	1.29	0.27	-37.23%	0.06	0.10
25%	Story 15	1.43	0.00	0.31	0.00	4.68	0.00	49.99	0.00	0.00	0.00		21.07	0.00	2.37	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.73	0.00
25%	Story 14	1.43	0.00	0.46	0.00	4.47	0.00	102.52	0.00	0.00	0.00		20.13	0.00	5.09	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.60	0.00
25%	Story 13	1.43	0.00	0.46	0.00	4.25	0.00	142.76	0.00	0.00	0.00		19.11	0.00	7.47	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.50	0.00
25%	Story 12	1.43	0.00	0.46	0.00	3.99	0.00	174.69	0.00	0.00	0.00		17.97	0.00	9.72	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.43	0.00
25%	Story 11	1.43	0.00	0.46	0.00	3.71	0.00	200.85	0.00	0.00	0.00		16.69	0.00	12.03	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.39	0.00
25%	Story 10	1.43	0.00	0.46	0.00	3.40	0.00	223.15	0.00	0.00	0.00		15.29	0.00	14.60	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.35	0.00
25%	Story 9	1.43	0.00	0.46	0.00	3.06	0.00	243.10	0.00	0.00	0.00		13.75	0.00	17.67	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.32	0.00
25%	Story 8	1.43	0.00	0.46	0.00	2.69	0.00	261.80	0.00	0.00	0.00		12.11	0.00	21.62	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.29	0.00
25%	Story 7	1.43	0.00	0.46	0.00	2.30	0.00	279.95	0.00	0.00	0.00		10.37	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.26	0.00
25%	Story 6	1.43	0.00	0.46	0.00	1.90	0.00	297.77	0.00	0.00	0.00		8.57	0.00	34.74	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.23	0.00
25%	Story 5	1.43	0.00	0.46	0.00	1.50	0.00	314.95	0.00	0.00	0.00		6.75	0.00	46.64	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.20	0.00
25%	Story 4	1.43	0.48	0.48	0.14	1.10	0.54	331.77	23.77	6.26	9.19		4.97	3.23	66.79	7.37	7.15	4.22	-18.96%	0.17	0.28
25%	Story 3	1.43	0.48	0.48	0.20	0.73	0.41	346.18	46.67	4.45	7.04		3.29	2.48	105.25	18.80	5.55	2.96	-22.54%	0.14	0.21
25%	Story 2	1.43	0.48	0.48	0.20	0.40	0.28	356.81	62.48	2.66	4.84		1.81	1.69	196.66	37.07	3.61	1.43	-29.07%	0.10	0.15
25%	Story 1	1.43	0.48	0.48	0.21	0.15	0.13	362.35	71.32	1.08	2.35		0.67	0.79	538.98	90.39	1.62	0.35	-37.03%	0.06	0.10
50%	Story 15	1.43	0.00	0.31	0.00	5.62	0.00	59.99	0.00	0.00	0.00		25.28	0.00	2.37	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.73	0.00
50%	Story 14	1.43	0.00	0.46	0.00	5.37	0.00	123.02	0.00	0.00	0.00		24.16	0.00	5.09	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.60	0.00



50%	Story 13	1.43	0.00	0.46	0.00	5.10	0.00	171.31	0.00	0.00	0.00	22.93	0.00	7.47	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.50	0.00
50%	Story 12	1.43	0.00	0.46	0.00	4.79	0.00	209.63	0.00	0.00	0.00	21.56	0.00	9.72	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.43	0.00
50%	Story 11	1.43	0.00	0.46	0.00	4.45	0.00	241.02	0.00	0.00	0.00	20.03	0.00	12.03	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.39	0.00
50%	Story 10	1.43	0.00	0.46	0.00	4.08	0.00	267.79	0.00	0.00	0.00	18.35	0.00	14.60	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.35	0.00
50%	Story 9	1.43	0.00	0.46	0.00	3.67	0.00	291.72	0.00	0.00	0.00	16.51	0.00	17.67	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.32	0.00
50%	Story 8	1.43	0.00	0.46	0.00	3.23	0.00	314.16	0.00	0.00	0.00	14.53	0.00	21.62	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.29	0.00
50%	Story 7	1.43	0.00	0.46	0.00	2.77	0.00	335.94	0.00	0.00	0.00	12.44	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.26	0.00
50%	Story 6	1.43	0.00	0.46	0.00	2.29	0.00	357.32	0.00	0.00	0.00	10.29	0.00	34.74	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.23	0.00
50%	Story 5	1.43	0.00	0.46	0.00	1.80	0.00	377.94	0.00	0.00	0.00	8.10	0.00	46.64	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.20	0.00
50%	Story 4	1.43	0.48	0.48	0.14	1.32	0.65	398.13	28.52	7.52	11.03	5.96	3.87	66.79	7.37	8.59	5.08	-18.92%	0.17	0.28
50%	Story 3	1.43	0.48	0.48	0.20	0.88	0.50	415.42	56.00	5.34	8.45	3.95	2.98	105.26	18.80	6.67	3.56	-22.55%	0.14	0.21
50%	Story 2	1.43	0.48	0.48	0.20	0.48	0.34	428.18	74.98	3.19	5.80	2.18	2.02	196.67	37.07	4.33	1.72	-29.03%	0.10	0.15
50%	Story 1	1.43	0.48	0.48	0.21	0.18	0.16	434.83	85.59	1.30	2.83	0.81	0.95	538.92	90.39	1.95	0.42	-37.05%	0.06	0.10
75%	Story 15	1.43	0.00	0.31	0.00	6.55	0.00	69.99	0.00	0.00	0.00	29.49	0.00	2.37	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.73	0.00
75%	Story 14	1.43	0.00	0.46	0.00	6.26	0.00	143.53	0.00	0.00	0.00	28.18	0.00	5.09	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.60	0.00
75%	Story 13	1.43	0.00	0.46	0.00	5.94	0.00	199.86	0.00	0.00	0.00	26.75	0.00	7.47	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.50	0.00
75%	Story 12	1.43	0.00	0.46	0.00	5.59	0.00	244.57	0.00	0.00	0.00	25.15	0.00	9.72	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.43	0.00
75%	Story 11	1.43	0.00	0.46	0.00	5.19	0.00	281.19	0.00	0.00	0.00	23.37	0.00	12.03	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.39	0.00
75%	Story 10	1.43	0.00	0.46	0.00	4.76	0.00	312.42	0.00	0.00	0.00	21.40	0.00	14.60	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.35	0.00
75%	Story 9	1.43	0.00	0.46	0.00	4.28	0.00	340.34	0.00	0.00	0.00	19.26	0.00	17.67	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.32	0.00
75%	Story 8	1.43	0.00	0.46	0.00	3.77	0.00	366.52	0.00	0.00	0.00	16.95	0.00	21.62	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.29	0.00
75%	Story 7	1.43	0.00	0.46	0.00	3.23	0.00	391.93	0.00	0.00	0.00	14.52	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.26	0.00
75%	Story 6	1.43	0.00	0.46	0.00	2.67	0.00	416.87	0.00	0.00	0.00	12.00	0.00	34.74	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.23	0.00
75%	Story 5	1.43	0.00	0.46	0.00	2.10	0.00	440.93	0.00	0.00	0.00	9.45	0.00	46.64	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.20	0.00
75%	Story 4	1.43	0.48	0.48	0.14	1.55	0.75	464.48	33.28	8.77	12.86	6.95	4.52	66.79	7.37	10.02	5.93	-18.91%	0.17	0.28
75%	Story 3	1.43	0.48	0.48	0.20	1.02	0.58	484.66	65.33	6.23	9.86	4.60	3.48	105.26	18.80	7.78	4.15	-22.56%	0.14	0.21
75%	Story 2	1.43	0.48	0.48	0.20	0.56	0.39	499.54	87.48	3.72	6.77	2.54	2.36	196.68	37.07	5.05	2.00	-29.08%	0.10	0.15
75%	Story 1	1.43	0.48	0.48	0.21	0.21	0.18	507.30	99.85	1.51	3.30	0.94	1.10	538.87	90.39	2.27	0.48	-37.21%	0.06	0.10
100%	Story 15	1.43	0.00	0.31	0.00	7.49	0.00	79.99	0.00	0.00	0.00	33.71	0.00	2.37	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.73	0.00
100%	Story 14	1.43	0.00	0.46	0.00	7.16	0.00	164.03	0.00	0.00	0.00	32.21	0.00	5.09	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.60	0.00
100%	Story 13	1.43	0.00	0.46	0.00	6.79	0.00	228.41	0.00	0.00	0.00	30.57	0.00	7.47	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.50	0.00
100%	Story 12	1.43	0.00	0.46	0.00	6.39	0.00	279.51	0.00	0.00	0.00	28.75	0.00	9.72	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.43	0.00
100%	Story 11	1.43	0.00	0.46	0.00	5.94	0.00	321.36	0.00	0.00	0.00	26.71	0.00	12.03	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.39	0.00
100%	Story 10	1.43	0.00	0.46	0.00	5.44	0.00	357.05	0.00	0.00	0.00	24.46	0.00	14.60	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.35	0.00
100%	Story 9	1.43	0.00	0.46	0.00	4.89	0.00	388.96	0.00	0.00	0.00	22.01	0.00	17.67	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.32	0.00
100%	Story 8	1.43	0.00	0.46	0.00	4.31	0.00	418.88	0.00	0.00	0.00	19.37	0.00	21.62	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.29	0.00
100%	Story 7	1.43	0.00	0.46	0.00	3.69	0.00	447.92	0.00	0.00	0.00	16.59	0.00	27.00	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.26	0.00
100%	Story 6	1.43	0.00	0.46	0.00	3.05	0.00	476.43	0.00	0.00	0.00	13.71	0.00	34.74	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.23	0.00
100%	Story 5	1.43	0.00	0.46	0.00	2.40	0.00	503.92	0.00	0.00	0.00	10.80	0.00	46.64	0.00	0.00	0.00	0.00%	0.20	0.00

VARIABLE

VARIABLE



50%	Story 13	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	7	149	7	747	0	0.00	0.00	182.30	0.00	0.00	0.00
50%	Story 12	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	10	194	10	972	0	0.00	0.00	237.24	0.00	0.00	0.00
50%	Story 11	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	12	241	12	1203	0	0.00	0.00	293.55	0.00	0.00	0.00
50%	Story 10	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	15	292	15	1460	0	0.00	0.00	356.16	0.00	0.00	0.00
50%	Story 9	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	18	353	18	1767	0	0.00	0.00	431.24	0.00	0.00	0.00
50%	Story 8	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	22	432	22	2162	0	0.00	0.00	527.58	0.00	0.00	0.00
50%	Story 7	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	27	540	27	2700	0	0.00	0.00	658.70	0.00	0.00	0.00
50%	Story 6	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	35	695	35	3474	0	0.00	0.00	847.61	0.00	0.00	0.00
50%	Story 5	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	47	933	47	4664	0	0.00	0.00	1138.12	0.00	0.00	0.00
50%	Story 4	0.00	0.00	361	240	320311	298083	-0.0163	-0.0175	74	1336	67	6679	1909	0.56	0.74	846.36	0.12	5220.12	-1.00
50%	Story 3	0.00	0.00	361	269	320311	298083	-0.0134	-0.0144	124	2105	105	10526	1973	0.52	0.74	1076.79	0.18	4301.89	-1.00
50%	Story 2	0.00	0.00	361	269	320311	298083	-0.0086	-0.0092	234	3933	197	19667	1973	0.48	0.73	1584.11	0.40	2753.06	-1.00
50%	Story 1	0.00	0.00	360	272	320311	298083	-0.0037	-0.0040	629	10778	539	53892	1978	0.44	0.70	3481.06	1.88	1198.49	1.00
75%	Story 15	0.00	0.00	313	0	320311	298083	0.0000	0.0000	2	47	2	237	0	0.00	0.00	57.91	0.00	0.00	0.00
75%	Story 14	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	5	102	5	509	0	0.00	0.00	124.26	0.00	0.00	0.00
75%	Story 13	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	7	149	7	747	0	0.00	0.00	182.30	0.00	0.00	0.00
75%	Story 12	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	10	194	10	972	0	0.00	0.00	237.24	0.00	0.00	0.00
75%	Story 11	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	12	241	12	1203	0	0.00	0.00	293.55	0.00	0.00	0.00
75%	Story 10	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	15	292	15	1460	0	0.00	0.00	356.16	0.00	0.00	0.00
75%	Story 9	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	18	353	18	1767	0	0.00	0.00	431.24	0.00	0.00	0.00
75%	Story 8	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	22	432	22	2162	0	0.00	0.00	527.58	0.00	0.00	0.00
75%	Story 7	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	27	540	27	2700	0	0.00	0.00	658.70	0.00	0.00	0.00
75%	Story 6	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	35	695	35	3474	0	0.00	0.00	847.63	0.00	0.00	0.00
75%	Story 5	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	47	933	47	4664	0	0.00	0.00	1138.06	0.00	0.00	0.00
75%	Story 4	0.00	0.00	361	240	320311	298083	-0.0190	-0.0204	74	1336	67	6679	1909	0.56	0.74	846.35	0.10	6087.34	-1.00
75%	Story 3	0.00	0.00	361	269	320311	298083	-0.0157	-0.0168	124	2105	105	10526	1973	0.52	0.74	1076.77	0.15	5019.32	-1.00
75%	Story 2	0.00	0.00	361	269	320311	298083	-0.0100	-0.0108	234	3934	197	19668	1973	0.48	0.73	1584.18	0.34	3211.76	-1.00
75%	Story 1	0.00	0.00	360	272	320311	298083	-0.0043	-0.0047	629	10777	539	53887	1978	0.44	0.70	3480.82	1.61	1394.78	1.00
100%	Story 15	0.00	0.00	313	0	320311	298083	0.0000	0.0000	2	47	2	237	0	0.00	0.00	57.91	0.00	0.00	0.00
100%	Story 14	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	5	102	5	509	0	0.00	0.00	124.26	0.00	0.00	0.00
100%	Story 13	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	7	149	7	747	0	0.00	0.00	182.30	0.00	0.00	0.00
100%	Story 12	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	10	194	10	972	0	0.00	0.00	237.24	0.00	0.00	0.00
100%	Story 11	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	12	241	12	1203	0	0.00	0.00	293.56	0.00	0.00	0.00
100%	Story 10	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	15	292	15	1460	0	0.00	0.00	356.16	0.00	0.00	0.00
100%	Story 9	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	18	353	18	1767	0	0.00	0.00	431.24	0.00	0.00	0.00
100%	Story 8	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	22	432	22	2162	0	0.00	0.00	527.57	0.00	0.00	0.00
100%	Story 7	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	27	540	27	2700	0	0.00	0.00	658.70	0.00	0.00	0.00
100%	Story 6	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	35	695	35	3474	0	0.00	0.00	847.62	0.00	0.00	0.00
100%	Story 5	0.00	0.00	355	0	320311	298083	0.0000	0.0000	47	933	47	4664	0	0.00	0.00	1138.07	0.00	0.00	0.00

VARIABLE

VARIABLE



100%	Story 4	0.00	0.00	361	240	320311	298083	-0.0217	-0.0233	74	1336	67	6679	1909	0.56	0.74	846.37		0.09	6956.01	-1.00
100%	Story 3	0.00	0.00	361	269	320311	298083	-0.0179	-0.0192	124	2105	105	10526	1973	0.52	0.74	1076.76		0.13	5736.61	-1.00
100%	Story 2	0.00	0.00	361	269	320311	298083	-0.0114	-0.0123	234	3933	197	19666	1973	0.48	0.73	1584.06		0.30	3670.71	-1.00
100%	Story 1	0.00	0.00	360	272	320311	298083	-0.0050	-0.0053	629	10781	539	53907	1978	0.44	0.70	3481.88		1.41	1595.64	1.00

Análisis general para ΔHz

Hz	Story	T ₁	T ₂	m ₁	m ₂	x ₁	x ₂	Vx ₁	Vx ₂	\dot{x}_1	\dot{x}_2	GAP ₁	x ₁	x ₂	K ₁	K ₂	\dot{x}'_1	\dot{x}'_2	e	t ₁	t ₂
		[s]	[s]	[tonfs2/cm]	[cm]	[cm]	[tonf]	[cm/s]	[cm]	[cm]	[cm]	[tonf/cm]	[ton/cm]	[cm/s]	[cm/s]	[A]	[s]	[s]			
0.25	Story 15	1.43	0.00	0.31	0.00	11.56	0.00	64.46	0.00	0.00	0.00		11.56	0.00	5.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00
0.25	Story 14	1.43	0.00	0.46	0.00	11.11	0.00	156.70	0.00	0.00	0.00		11.11	0.00	14.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.36	0.00
0.25	Story 13	1.43	0.00	0.46	0.00	10.61	0.00	247.12	0.00	0.00	0.00		10.61	0.00	23.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00
0.25	Story 12	1.43	0.00	0.46	0.00	10.05	0.00	335.80	0.00	0.00	0.00		10.05	0.00	33.43	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00
0.25	Story 11	1.43	0.00	0.46	0.00	9.40	0.00	423.36	0.00	0.00	0.00		9.40	0.00	45.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
0.25	Story 10	1.43	0.00	0.46	0.00	8.68	0.00	508.99	0.00	0.00	0.00		8.68	0.00	58.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00
0.25	Story 9	1.43	0.00	0.46	0.00	7.87	0.00	592.35	0.00	0.00	0.00		7.87	0.00	75.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00
0.25	Story 8	1.43	0.00	0.46	0.00	6.99	0.00	673.02	0.00	0.00	0.00		6.99	0.00	96.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00
0.25	Story 7	1.43	0.00	0.46	0.00	6.03	0.00	750.59	0.00	0.00	0.00		6.03	0.00	124.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
0.25	Story 6	1.43	0.00	0.46	0.00	5.03	0.00	824.73	0.00	0.00	0.00		5.03	0.00	163.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00
0.25	Story 5	1.43	0.00	0.46	0.00	4.00	0.00	895.30	0.00	0.00	0.00		4.00	0.00	224.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00
0.25	Story 4	1.43	0.52	0.48	0.13	2.97	0.41	965.99	13.22	5.45	0.66		2.97	0.41	325.74	31.87	4.09	8.88	0.78	0.08	0.13
0.25	Story 3	1.43	0.52	0.48	0.19	1.98	0.33	1033.12	31.50	3.63	0.55		1.98	0.33	521.38	95.66	2.34	5.42	0.74	0.06	0.09
0.25	Story 2	1.43	0.52	0.48	0.19	1.10	0.23	1097.14	49.56	2.01	0.37		1.10	0.23	993.96	212.34	1.28	2.92	0.69	0.04	0.06
0.25	Story 1	1.43	0.52	0.48	0.19	0.41	0.12	1158.15	68.10	0.75	0.18		0.41	0.12	2803.55	586.03	0.49	1.06	0.61	0.03	0.04
0.50	Story 15	1.43	0.00	0.31	0.00	23.42	0.00	139.87	0.00	0.00	0.00		23.42	0.00	5.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.46	0.00
0.50	Story 14	1.43	0.00	0.46	0.00	22.45	0.00	337.19	0.00	0.00	0.00		22.45	0.00	15.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	0.00
0.50	Story 13	1.43	0.00	0.46	0.00	21.39	0.00	527.45	0.00	0.00	0.00		21.39	0.00	24.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00
0.50	Story 12	1.43	0.00	0.46	0.00	20.18	0.00	709.85	0.00	0.00	0.00		20.18	0.00	35.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00
0.50	Story 11	1.43	0.00	0.46	0.00	18.82	0.00	883.51	0.00	0.00	0.00		18.82	0.00	46.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00
0.50	Story 10	1.43	0.00	0.46	0.00	17.29	0.00	1047.56	0.00	0.00	0.00		17.29	0.00	60.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00
0.50	Story 9	1.43	0.00	0.46	0.00	15.60	0.00	1201.11	0.00	0.00	0.00		15.60	0.00	76.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00
0.50	Story 8	1.43	0.00	0.46	0.00	13.77	0.00	1343.26	0.00	0.00	0.00		13.77	0.00	97.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00
0.50	Story 7	1.43	0.00	0.46	0.00	11.81	0.00	1473.18	0.00	0.00	0.00		11.81	0.00	124.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
0.50	Story 6	1.43	0.00	0.46	0.00	9.77	0.00	1590.33	0.00	0.00	0.00		9.77	0.00	162.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00
0.50	Story 5	1.43	0.00	0.46	0.00	7.71	0.00	1694.60	0.00	0.00	0.00		7.71	0.00	219.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00
0.50	Story 4	1.43	0.48	0.48	0.13	5.67	0.43	1791.43	13.71	19.88	1.55		5.67	0.43	315.80	31.85	14.62	32.95	0.86	0.08	0.13
0.50	Story 3	1.43	0.48	0.48	0.19	3.76	0.34	1876.08	32.33	13.17	1.21		3.76	0.34	499.20	94.74	8.09	20.05	0.83	0.06	0.09
0.50	Story 2	1.43	0.48	0.48	0.19	2.08	0.24	1950.26	50.33	7.28	0.84		2.08	0.24	939.84	208.41	4.38	10.82	0.79	0.05	0.06
0.50	Story 1	1.43	0.48	0.48	0.19	0.77	0.12	2015.88	68.88	2.70	0.41		0.77	0.12	2618.36	574.46	1.65	3.94	0.74	0.03	0.04



1.00	Story 15	1.43	0.00	0.31	0.00	16.39	0.00	123.99	0.00	0.00	0.00	16.39	0.00	7.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00
1.00	Story 14	1.43	0.00	0.46	0.00	15.63	0.00	292.64	0.00	0.00	0.00	15.63	0.00	18.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00
1.00	Story 13	1.43	0.00	0.46	0.00	14.78	0.00	448.07	0.00	0.00	0.00	14.78	0.00	30.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00
1.00	Story 12	1.43	0.00	0.46	0.00	13.83	0.00	588.74	0.00	0.00	0.00	13.83	0.00	42.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00
1.00	Story 11	1.43	0.00	0.46	0.00	12.77	0.00	713.15	0.00	0.00	0.00	12.77	0.00	55.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00
1.00	Story 10	1.43	0.00	0.46	0.00	11.60	0.00	819.86	0.00	0.00	0.00	11.60	0.00	70.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00
1.00	Story 9	1.43	0.00	0.46	0.00	10.33	0.00	907.56	0.00	0.00	0.00	10.33	0.00	87.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00
1.00	Story 8	1.43	0.00	0.46	0.00	8.98	0.00	975.32	0.00	0.00	0.00	8.98	0.00	108.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00
1.00	Story 7	1.43	0.00	0.46	0.00	7.58	0.00	1022.77	0.00	0.00	0.00	7.58	0.00	134.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
1.00	Story 6	1.43	0.00	0.46	0.00	6.25	0.00	1050.09	0.00	0.00	0.00	6.25	0.00	167.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
1.00	Story 5	1.43	0.00	0.46	0.00	4.91	0.00	1058.07	0.00	0.00	0.00	4.91	0.00	215.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00
1.00	Story 4	1.43	0.48	0.48	0.13	3.60	0.53	1047.50	20.05	18.22	3.44	3.60	0.53	290.87	37.65	13.51	28.29	0.68	0.08	0.12
1.00	Story 3	1.43	0.48	0.48	0.19	2.38	0.42	1020.01	45.63	11.79	2.72	2.38	0.42	429.46	108.67	7.49	16.56	0.63	0.07	0.08
1.00	Story 2	1.43	0.48	0.48	0.19	1.30	0.29	978.27	68.47	6.35	1.91	1.30	0.29	749.81	232.18	4.08	8.52	0.54	0.05	0.06
1.00	Story 1	1.43	0.48	0.48	0.19	0.48	0.14	926.33	88.90	2.30	0.93	0.48	0.14	1923.85	613.92	1.58	2.95	0.42	0.03	0.04
2.00	Story 15	1.43	0.00	0.31	0.00	5.05	0.00	78.77	0.00	0.00	0.00	5.05	0.00	15.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00
2.00	Story 14	1.43	0.00	0.46	0.00	4.64	0.00	166.62	0.00	0.00	0.00	4.64	0.00	35.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00
2.00	Story 13	1.43	0.00	0.46	0.00	4.20	0.00	233.71	0.00	0.00	0.00	4.20	0.00	55.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00
2.00	Story 12	1.43	0.00	0.46	0.00	3.72	0.00	292.31	0.00	0.00	0.00	3.72	0.00	78.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00
2.00	Story 11	1.43	0.00	0.46	0.00	3.21	0.00	333.18	0.00	0.00	0.00	3.21	0.00	103.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00
2.00	Story 10	1.43	0.00	0.46	0.00	2.87	0.00	354.86	0.00	0.00	0.00	2.87	0.00	123.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
2.00	Story 9	1.43	0.00	0.46	0.00	2.71	0.00	356.34	0.00	0.00	0.00	2.71	0.00	131.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
2.00	Story 8	1.43	0.00	0.46	0.00	2.49	0.00	338.25	0.00	0.00	0.00	2.49	0.00	135.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
2.00	Story 7	1.43	0.00	0.46	0.00	2.22	0.00	303.12	0.00	0.00	0.00	2.22	0.00	136.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
2.00	Story 6	1.43	0.00	0.46	0.00	1.91	0.00	291.67	0.00	0.00	0.00	1.91	0.00	152.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00
2.00	Story 5	1.43	0.00	0.46	0.00	1.55	0.00	316.28	0.00	0.00	0.00	1.55	0.00	203.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00
2.00	Story 4	1.43	0.48	0.48	0.13	1.18	1.05	330.12	36.27	9.99	14.20	1.18	1.05	280.31	34.66	11.31	7.10	-0.17	0.08	0.12
2.00	Story 3	1.43	0.48	0.48	0.19	0.80	0.81	329.64	79.32	7.47	11.00	0.80	0.81	412.51	97.37	9.10	5.57	-0.19	0.07	0.09
2.00	Story 2	1.43	0.48	0.48	0.19	0.45	0.56	375.33	114.08	4.56	7.54	0.45	0.56	834.81	203.10	5.95	2.97	-0.25	0.05	0.06
2.00	Story 1	1.43	0.48	0.48	0.19	0.17	0.27	438.13	140.32	1.83	3.58	0.17	0.27	2520.88	522.01	2.61	0.86	-0.32	0.03	0.04
4.00	Story 15	1.43	0.00	0.31	0.00	1.26	0.00	72.48	0.00	0.00	0.00	1.26	0.00	57.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00
4.00	Story 14	1.43	0.00	0.46	0.00	1.20	0.00	148.43	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	123.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
4.00	Story 13	1.43	0.00	0.46	0.00	1.18	0.00	192.61	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00	163.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00
4.00	Story 12	1.43	0.00	0.46	0.00	1.20	0.00	204.44	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	169.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00
4.00	Story 11	1.43	0.00	0.46	0.00	1.21	0.00	186.34	0.00	0.00	0.00	1.21	0.00	154.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00
4.00	Story 10	1.43	0.00	0.46	0.00	1.18	0.00	144.64	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00	122.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00
4.00	Story 9	1.43	0.00	0.46	0.00	1.12	0.00	99.55	0.00	0.00	0.00	1.12	0.00	88.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00
4.00	Story 8	1.43	0.00	0.46	0.00	1.02	0.00	144.42	0.00	0.00	0.00	1.02	0.00	141.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00
4.00	Story 7	1.43	0.00	0.46	0.00	0.89	0.00	172.88	0.00	0.00	0.00	0.89	0.00	193.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00



4.00	Story 6	1.43	0.00	0.46	0.00	0.74	0.00	181.52	0.00	0.00	0.00	0.74	0.00	245.26	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	
4.00	Story 5	1.43	0.00	0.46	0.00	0.57	0.00	169.87	0.00	0.00	0.00	0.57	0.00	296.40	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	
4.00	Story 4	1.43	0.48	0.48	0.13	0.43	0.71	145.05	26.23	4.71	8.07	0.43	0.71	338.19	37.06	5.71	2.35	-0.26	0.08	0.12
4.00	Story 3	1.43	0.48	0.48	0.19	0.30	0.54	147.03	49.39	3.70	6.02	0.30	0.54	486.05	92.28	4.68	2.36	-0.24	0.06	0.09
4.00	Story 2	1.43	0.48	0.48	0.19	0.18	0.35	189.22	58.47	2.32	3.93	0.18	0.35	1076.35	165.59	2.95	1.34	-0.26	0.04	0.07
4.00	Story 1	1.43	0.48	0.48	0.19	0.07	0.16	232.11	58.60	0.94	1.77	0.07	0.16	3423.39	371.15	1.23	0.40	-0.31	0.02	0.05
8.00	Story 15	1.43	0.00	0.31	0.00	1.38	0.00	50.74	0.00	0.00	0.00	1.38	0.00	36.87	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	
8.00	Story 14	1.43	0.00	0.46	0.00	1.31	0.00	79.66	0.00	0.00	0.00	1.31	0.00	60.71	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	
8.00	Story 13	1.43	0.00	0.46	0.00	1.24	0.00	66.76	0.00	0.00	0.00	1.24	0.00	53.76	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	
8.00	Story 12	1.43	0.00	0.46	0.00	1.16	0.00	46.29	0.00	0.00	0.00	1.16	0.00	39.81	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	
8.00	Story 11	1.43	0.00	0.46	0.00	1.07	0.00	102.24	0.00	0.00	0.00	1.07	0.00	95.20	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	
8.00	Story 10	1.43	0.00	0.46	0.00	0.98	0.00	140.31	0.00	0.00	0.00	0.98	0.00	143.79	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	
8.00	Story 9	1.43	0.00	0.46	0.00	0.88	0.00	138.12	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	157.10	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	
8.00	Story 8	1.43	0.00	0.46	0.00	0.80	0.00	98.02	0.00	0.00	0.00	0.80	0.00	122.53	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	
8.00	Story 7	1.43	0.00	0.46	0.00	0.71	0.00	72.08	0.00	0.00	0.00	0.71	0.00	102.14	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	
8.00	Story 6	1.43	0.00	0.46	0.00	0.60	0.00	75.94	0.00	0.00	0.00	0.60	0.00	127.05	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	
8.00	Story 5	1.43	0.00	0.46	0.00	0.48	0.00	92.03	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	191.85	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	
8.00	Story 4	1.43	0.48	0.48	0.13	0.36	0.18	105.87	20.18	3.05	3.25	0.36	0.18	296.13	114.68	3.15	2.95	-0.03	0.08	0.07
8.00	Story 3	1.43	0.48	0.48	0.19	0.24	0.15	108.07	28.97	2.42	2.19	0.24	0.15	452.92	192.26	2.29	2.52	0.05	0.07	0.06
8.00	Story 2	1.43	0.48	0.48	0.19	0.13	0.12	114.29	21.04	1.77	1.19	0.13	0.12	864.54	182.62	1.51	2.09	0.20	0.05	0.06
8.00	Story 1	1.43	0.48	0.48	0.19	0.05	0.06	165.28	26.69	0.78	0.38	0.05	0.06	3366.15	441.92	0.63	1.03	0.34	0.02	0.04

Hz	Story	h ₁	h ₂	R ₁	R ₂	c ₁	c ₂	d ₁	d ₂	K1	K2	K3	K4	K5	PERDIDA DE ENERGIA	K _n	d	C _n	v _c	SENTIDO	
						[cm/s]	[cm/s]	[cm]	[cm]							[tonf/cm]	[cm]	[tonf-s/cm]	[cm/s]		
0.25	Story 15	0.00	0.00	313.24	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	6	112	6	558	0	0.00	0.00	3.72	0.00	0.00	0.00	
0.25	Story 14	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	14	282	14	1411	0	0.00	0.00	9.41	0.00	0.00	0.00	
0.25	Story 13	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	23	466	23	2329	0	0.00	0.00	15.53	0.00	0.00	0.00	
0.25	Story 12	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	33	669	33	3343	0	0.00	0.00	22.28	0.00	0.00	0.00	
0.25	Story 11	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	45	900	45	4502	0	0.00	0.00	30.01	0.00	0.00	0.00	
0.25	Story 10	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	59	1173	59	5863	0	0.00	0.00	39.09	0.00	0.00	0.00	
0.25	Story 9	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	75	1505	75	7523	0	0.00	0.00	50.16	0.00	0.00	0.00	
0.25	Story 8	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	96	1926	96	9631	0	0.00	0.00	64.21	0.00	0.00	0.00	
0.25	Story 7	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	124	2487	124	12437	0	0.00	0.00	82.92	0.00	0.00	0.00	
0.25	Story 6	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	164	3279	164	16397	0	0.00	0.00	109.31	0.00	0.00	0.00	
0.25	Story 5	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	224	4481	224	22405	0	0.00	0.00	149.37	0.00	0.00	0.00	
0.25	Story 4	0.00	0.00	361.47	235.90	320311	298083	-0.0083	-0.0090	358	6515	326	32574	1898	0.38	1.00	860.57	0.09	2679.24	-1.00	
0.25	Story 3	0.00	0.00	361.47	262.37	320311	298083	-0.0057	-0.0062	617	10428	521	52138	1959	0.38	1.00	1032.51	0.19	1836.47	-1.00	
0.25	Story 2	0.00	0.00	361.47	262.37	320311	298083	-0.0032	-0.0035	1206	19879	994	99396	1959	0.39	1.00	1386.46	0.53	1035.01	-1.00	
0.25	Story 1	0.00	0.00	360.28	265.24	320311	298083	-0.0012	-0.0013	3390	56071	2804	280355	1964	0.39	1.00	2719.02	3.25	392.17	-1.00	



0.50	Story 15	0.00	0.00	313.24	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	6	119	6	597	0	0.00	0.00	3.98			
0.50	Story 14	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	15	300	15	1502	0	0.00	0.00	10.01			
0.50	Story 13	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	25	493	25	2466	0	0.00	0.00	16.44			
0.50	Story 12	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	35	703	35	3517	0	0.00	0.00	23.45			
0.50	Story 11	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	47	939	47	4694	0	0.00	0.00	31.30			
0.50	Story 10	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	61	1212	61	6058	0	0.00	0.00	40.39			
0.50	Story 9	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	77	1540	77	7699	0	0.00	0.00	51.33			
0.50	Story 8	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	98	1952	98	9758	0	0.00	0.00	65.05			
0.50	Story 7	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	125	2495	125	12473	0	0.00	0.00	83.15			
0.50	Story 6	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	163	3254	163	16271	0	0.00	0.00	108.47			
0.50	Story 5	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	220	4398	220	21990	0	0.00	0.00	146.60			
0.50	Story 4	0.00	0.00	361.47	235.90	320311	298083	-0.0301	-0.0324	348	6316	316	31580	1898	0.20	0.58	853.94	0.02	9656.85	-1.00
0.50	Story 3	0.00	0.00	361.47	262.37	320311	298083	-0.0203	-0.0218	594	9984	499	49920	1959	0.20	0.59	1017.42	0.04	6504.87	-1.00
0.50	Story 2	0.00	0.00	361.47	262.37	320311	298083	-0.0113	-0.0122	1148	18797	940	93984	1959	0.20	0.60	1349.07	0.10	3642.30	-1.00
0.50	Story 1	0.00	0.00	360.28	265.24	320311	298083	-0.0042	-0.0046	3193	52367	2618	261836	1964	0.20	0.61	2591.70	0.65	1361.21	-1.00
1.00	Story 15	0.00	0.00	313.24	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	8	151	8	756	0	0.00	0.00	5.04			
1.00	Story 14	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	19	375	19	1873	0	0.00	0.00	12.49			
1.00	Story 13	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	30	606	30	3031	0	0.00	0.00	20.21			
1.00	Story 12	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	43	851	43	4256	0	0.00	0.00	28.37			
1.00	Story 11	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	56	1117	56	5583	0	0.00	0.00	37.22			
1.00	Story 10	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	71	1413	71	7066	0	0.00	0.00	47.10			
1.00	Story 9	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	88	1757	88	8783	0	0.00	0.00	58.55			
1.00	Story 8	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	109	2171	109	10856	0	0.00	0.00	72.37			
1.00	Story 7	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	135	2697	135	13486	0	0.00	0.00	89.91			
1.00	Story 6	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	168	3360	168	16799	0	0.00	0.00	111.99			
1.00	Story 5	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	215	4308	215	21541	0	0.00	0.00	143.61			
1.00	Story 4	0.00	0.00	361.47	235.90	320311	298083	-0.0286	-0.0308	329	5817	291	29087	1898	0.14	0.32	839.25	0.04	9188.68	-1.00
1.00	Story 3	0.00	0.00	361.47	262.37	320311	298083	-0.0194	-0.0209	538	8589	429	42946	1959	0.14	0.32	975.57	0.07	6230.83	-1.00
1.00	Story 2	0.00	0.00	361.47	262.37	320311	298083	-0.0109	-0.0117	982	14996	750	74981	1959	0.14	0.32	1230.30	0.19	3494.60	-1.00
1.00	Story 1	0.00	0.00	360.28	265.24	320311	298083	-0.0041	-0.0044	2538	38477	1924	192385	1964	0.15	0.33	2141.85	1.00	1321.25	-1.00
2.00	Story 15	0.00	0.00	313.24	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	16	312	16	1560	0	0.00	0.00	10.40			
2.00	Story 14	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	36	718	36	3588	0	0.00	0.00	23.92			
2.00	Story 13	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	56	1112	56	5561	0	0.00	0.00	37.08			
2.00	Story 12	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	79	1572	79	7858	0	0.00	0.00	52.39			
2.00	Story 11	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	104	2079	104	10395	0	0.00	0.00	69.30			
2.00	Story 10	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	123	2470	123	12349	0	0.00	0.00	82.33			
2.00	Story 9	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	132	2634	132	13170	0	0.00	0.00	87.80			
2.00	Story 8	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	136	2718	136	13588	0	0.00	0.00	90.58			
2.00	Story 7	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	136	2728	136	13638	0	0.00	0.00	90.92			

VARIABLE

VARIABLE

VARIABLE



2.00	Story 6	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	153	3057	153	15285	0	0.00	0.00	101.90				
2.00	Story 5	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	203	4068	203	20341	0	0.00	0.00	135.61				
2.00	Story 4	0.00	0.00	361.47	235.90	320311	298083	-0.0216	-0.0232	315	5606	280	28031	1898	0.08	0.15	831.21		0.09	6921.79	-1.00
2.00	Story 3	0.00	0.00	361.47	262.37	320311	298083	-0.0188	-0.0202	510	8250	413	41251	1959	0.08	0.16	960.50		0.11	6039.75	1.00
2.00	Story 2	0.00	0.00	361.47	262.37	320311	298083	-0.0121	-0.0130	1038	16696	835	83481	1959	0.07	0.16	1277.28		0.23	3893.86	1.00
2.00	Story 1	0.00	0.00	360.28	265.24	320311	298083	-0.0051	-0.0055	3043	50418	2521	252088	1964	0.07	0.16	2509.23		1.02	1644.46	1.00
4.00	Story 15	0.00	0.00	313.24	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	57	1147	57	5734	0	0.00	0.00	38.22		0.00	0.00	0.00
4.00	Story 14	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	124	2471	124	12354	0	0.00	0.00	82.36		0.00	0.00	0.00
4.00	Story 13	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	163	3264	163	16318	0	0.00	0.00	108.78		0.00	0.00	0.00
4.00	Story 12	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	170	3399	170	16994	0	0.00	0.00	113.30		0.00	0.00	0.00
4.00	Story 11	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	154	3089	154	15447	0	0.00	0.00	102.98		0.00	0.00	0.00
4.00	Story 10	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	122	2450	122	12249	0	0.00	0.00	81.66		0.00	0.00	0.00
4.00	Story 9	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	89	1776	89	8882	0	0.00	0.00	59.22		0.00	0.00	0.00
4.00	Story 8	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	141	2821	141	14103	0	0.00	0.00	94.02		0.00	0.00	0.00
4.00	Story 7	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	193	3866	193	19329	0	0.00	0.00	128.86		0.00	0.00	0.00
4.00	Story 6	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	245	4905	245	24526	0	0.00	0.00	163.51		0.00	0.00	0.00
4.00	Story 5	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	296	5928	296	29640	0	0.00	0.00	197.60		0.00	0.00	0.00
4.00	Story 4	0.00	0.00	361.47	235.90	320311	298083	-0.0106	-0.0114	375	6764	338	33819	1898	0.06	0.18	870.61		0.18	3412.61	1.00
4.00	Story 3	0.00	0.00	361.47	262.37	320311	298083	-0.0094	-0.0101	578	9721	486	48605	1959	0.06	0.19	1007.83		0.24	3010.20	1.00
4.00	Story 2	0.00	0.00	361.47	262.37	320311	298083	-0.0058	-0.0062	1242	21527	1076	107635	1959	0.05	0.19	1425.80		0.54	1854.09	1.00
4.00	Story 1	0.00	0.00	360.28	265.24	320311	298083	-0.0023	-0.0025	3795	68468	3423	342339	1964	0.05	0.19	3060.62		2.81	740.89	1.00
8.00	Story 15	0.00	0.00	313.24	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	37	737	37	3687	0	0.00	0.00	24.58		0.00	0.00	0.00
8.00	Story 14	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	61	1214	61	6071	0	0.00	0.00	40.47		0.00	0.00	0.00
8.00	Story 13	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	54	1075	54	5376	0	0.00	0.00	35.84		0.00	0.00	0.00
8.00	Story 12	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	40	796	40	3981	0	0.00	0.00	26.54		0.00	0.00	0.00
8.00	Story 11	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	95	1904	95	9520	0	0.00	0.00	63.46		0.00	0.00	0.00
8.00	Story 10	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	144	2876	144	14379	0	0.00	0.00	95.86		0.00	0.00	0.00
8.00	Story 9	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	157	3142	157	15710	0	0.00	0.00	104.73		0.00	0.00	0.00
8.00	Story 8	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	123	2451	123	12253	0	0.00	0.00	81.68		0.00	0.00	0.00
8.00	Story 7	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	102	2043	102	10214	0	0.00	0.00	68.09		0.00	0.00	0.00
8.00	Story 6	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	127	2541	127	12705	0	0.00	0.00	84.70		0.00	0.00	0.00
8.00	Story 5	0.00	0.00	355.07	0.00	320311	298083	0.0000	0.0000	192	3837	192	19185	0	0.00	0.00	127.90		0.00	0.00	0.00
8.00	Story 4	0.00	0.00	361.47	235.90	320311	298083	-0.0070	-0.0075	411	5923	296	29613	1898	0.08	0.11	868.44		0.29	2235.71	-1.00
8.00	Story 3	0.00	0.00	361.47	262.37	320311	298083	-0.0055	-0.0059	645	9058	453	45292	1959	0.07	0.14	1019.07		0.43	1765.98	-1.00
8.00	Story 2	0.00	0.00	361.47	262.37	320311	298083	-0.0034	-0.0037	1047	17291	865	86454	1959	0.05	0.20	1290.27		0.85	1098.73	-1.00
8.00	Story 1	0.00	0.00	360.28	265.24	320311	298083	-0.0014	-0.0015	3808	67323	3366	336615	1964	0.04	0.33	3046.05		4.62	436.14	1.00

VARIABLE

VARIABLE