



**UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL**

**“Influencia de la distribución de amortiguadores de masa sintonizada ubicados en el último piso de una edificación de concreto armado de 5 niveles para la reducción de los efectos torsionales ante respuestas sísmicas mediante un análisis estructural en**

**Lima, Perú”**

**TESIS:**

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

**AUTOR (ES):**

Barja Rosas, Xiomara Mariela (0000-0001-5006-4510)

Sotomayor Cerron, Aldahir Edgar (0000-0002-8326-310X)

**ASESOR:**

Moreno Sánchez, Javier Daniel (0000-0003-2132-8171)

**Lima, 27 de octubre del 2021**

**DEDICATORIA**

*Dedicamos nuestra investigación a nuestras madres por el apoyo y motivación constante para seguir adelante con nuestro proyecto.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos sinceramente a nuestros profesores de la universidad por brindarnos sus conocimientos, su dedicación, su orientación, su motivación y persistencia, lo cual fue fundamentales para nuestra formación como Ingenieros Civiles, principalmente a nuestros asesores, Aldo Rafael Bravo Lizano, David Humberto Álvarez Miranda y Javier Daniel Moreno Sánchez.

## RESUMEN

En este trabajo se analizará el control de la respuesta sísmica de una edificación asimétrica de 5 pisos mediante la incorporación de Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS) evaluando distintas distribuciones de porcentaje de masa del dispositivo para obtener una óptima ubicación en la última planta con el objeto de reducir los efectos torsionales producto de las irregularidades de planta.

Para el desarrollo se designaron diversas variables para caracterizar el comportamiento de cada modelo. Estudios anteriores optaban por considerar independientemente cada variable y globalizaban la respuesta de estas a el resto de las variables. A raíz de esto, se decide analizar paralelamente y comparar en cada modelo estructural hasta obtener una óptima distribución.

*Palabras Clave:* Amortiguador de masa sintonizado; Irregularidad de planta; Torsión Accidental

## ABSTRACT

A viable option to reduce seismic vibrations in structures is the use of passive control devices, within which are the Tuned Mass Dampers (AMS). In an asymmetric construction a greater flexional and torsional vibration is produced, this phenomenon leads to an increase in the forces present in the sections and an eventual collapse of the structure.

In this way, the implementation of the Tuned Mass Damper in an asymmetric building, allows to dissipate the energy product of horizontal movements such as the earthquake, besides attenuating the torsional effects due to the asymmetry.

In this research thesis the control of the seismic response of an asymmetric 5-story building, structured on the basis of porticos and reinforced concrete walls, will be analyzed, by incorporating Tuned Mass Dampers evaluating different distributions to obtain the optimal location and distribution in the last floor in order to control the torsional effects product of plant irregularities.

*Keywords:* Tuned mass damper; Plan Irregularity; Accidental Torsion

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:</b> .....	1
<b>1.2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	2
1.2.1. Hipótesis .....	2
1.2.2. Objetivo General.....	2
1.2.3. Objetivos Específicos .....	2
<b>1.3. LIMITACIONES:</b> .....	2
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	3
<b>2.1. VULNERABILIDAD SÍSMICA EN LIMA</b> .....	3
<b>2.2. IRREGULARIDAD EN PLANTA DE LAS EDIFICACIONES Y EL EFECTO TORSIONAL ANTE RESPUESTAS SÍSMICAS</b> .....	4
<b>2.3. EXCENRICIDAD ACCIDENTAL</b> .....	8
<b>2.4. PORCENTAJE DE MASA PARTICIPATIVA MODAL EN ROTACIÓN RZ EN EL PRIMER MODO DE VIBRACIÓN</b> .....	10
<b>2.5. SISTEMA DE CONTROL</b> .....	10
2.5.1. Tipos .....	10
2.5.1.1. Sistemas de control pasivo. ....	11
2.5.1.2. Sistema de control semiactivo .....	11
2.5.1.3. Sistemas de Control Activo. ....	12
<b>2.5.2. Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS)</b> .....	13
2.5.2.1. Parámetros Óptimos del AMS .....	16
2.5.2.2. Aplicaciones .....	17
2.5.2.2.1. John Hancock Tower (Engineering News Record, octubre 1975) ....	17
2.5.2.2.2. Taipéi 101 .....	18
<b>2.6. ASPECTOS DE LAS NORMATIVAS NACIONALES E INTERNACIONALES PARA EL ANÁLISIS SISMO RESISTENTE</b> .....	19
<b>2.7. CONCEPTOS PRELIMINARES PARA LA METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DINÁMICO</b> 21	
2.7.1. Análisis dinámico: .....	21
2.7.1.1. Análisis dinámico modal espectral .....	21
2.7.1.1.1. Procedimiento de análisis .....	22
2.7.1.2. Análisis tiempo historia .....	23

2.7.1.2.1. Aceleración Máxima del Suelo (PGA) .....	26
<b>CAPITULO III: METODOLOGÍA:</b> .....	29
<b>3.1. MODELO SIMPLIFICADO CON UN AMORTIGUADOR DE MASA SINTONIZADA</b> .....	29
<b>3.2. PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DEL AMORTIGUADOR DE MASA SINTONIZADA</b> .....	32
3.2.1. Desarrollo del Caso 1 .....	34
3.2.2. Desarrollo del Caso 2 .....	38
3.2.3. Desarrollo del Caso 3 .....	41
3.2.4. Desarrollo del Caso 4 .....	44
3.2.5. Desarrollo del Caso 5 .....	46
<b>3.3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS</b> .....	49
3.3.1. Análisis Dinámico Modal .....	49
3.3.2. Tiempo Historia.....	50
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA IRREGULAR ANTE UNA RESPUESTA DINÁMICA SUJETA A UN SISMO</b> .....	53
<b>4.1. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA IRREGULAR SIN UN AMS</b> .....	53
<b>4.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA IRREGULAR CON AMS:</b> .....	55
4.2.1. Análisis de la estructura de estudio con un AMS concentrada (Caso 1):.....	55
4.2.2. Análisis de la estructura de estudio con 2 AMS distribuidos en el eje X – X (Caso 2) 65	
<b>4.2.3. Análisis de la estructura con el AMS subdividido en 2 masas a una distancia de los ejes centroidales en dirección Y (Caso 3)</b> .....	78
<b>4.2.4. Análisis de la estructura de estudio con 2 AMS subdivididos a distancias aleatorias en las esquinas de la edificación (Caso 4)</b> .....	91
<b>4.2.5. Análisis de la estructura de estudio con 4 AMS subdivididos a distancias aleatorias de los ejes centroides en dirección x e y (Caso 5)</b> .....	104
<b>CAPITULO V: INTERPRETACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	118
<b>5.1. INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL:</b> .....	118
<b>5.1.1. Comparación de las derivas elásticas e inelásticas de los 5 casos de análisis:</b> 118	

5.1.2.	Interpretación de la masa participativa en los modelos de vibración de los 5 casos de análisis .....	119
5.1.3.	Interpretación del cambio de la excentricidad torsional en los 5 casos de análisis:	121
5.1.4.	Comparación de la excentricidad accidental en los 5 casos de análisis:	122
5.2.	INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS TIEMPO - HISTORIA: .....	122
5.2.1.	Interpretación del sismo de la estación parque de la reserva (1966) ...	122
5.2.2.	Interpretación del sismo de la estación de la Molina (1974).....	125
5.2.3.	Interpretación del sismo de la estación Jorge Alva Hurtado (2005)....	127
<b>CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>129</b>
6.1.	CONCLUSIONES .....	129
6.2.	RECOMENDACIONES .....	132
REFERENCIAS .....		133

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Desplazamiento relativo máximo ( $\Delta_{\text{máx}}$ ), desplazamiento relativo promedio ( $\Delta_{\text{prom}}$ ) y desplazamiento relativo mínimo ( $\Delta_{\text{mín}}$ ) .....	6
Figura 2: Irregularidad por esquina entrante (Muñoz, Norma Peruana de Diseño Sismorresistente NTE.030 2018, 2018).....	7
Figura 3: Irregularidad por discontinuidad del diafragma (Muñoz, Norma Peruana de Diseño Sismorresistente NTE.030 2018, 2018).....	7
Figura 4: Excentricidad entre el C. Masa y C. Rigidez (Medina & Medina, 2017).....	9
Figura 5: Clasificación de las técnicas de control de respuesta sísmica (Oviedo y Duque, 2006).....	11
Figura 6: Diagrama esquemático de un Amortiguador de masa sintonizada .....	15
Figura 7: Amortiguador de Masa Sintonizada en John Hancock Tower (LeMessurier, 2019) .....	18
Figura 8: Amortiguador de Masa Sintonizada en Taipéi 101 (Amusing Planet, 2014) .....	19
Figura 9: Flujo de desarrollo de un análisis Dinámico modal espectral.....	22
Figura 10: Zonas Sísmicas de Perú (Norma E030, 2018) .....	23
Figura 11 Representación esquemática del análisis tiempo historia .....	24
Figura 12 Propuesta de SEAOC de niveles de desempeño sísmico para edificaciones comunes .....	27
Figura 13: Sistema de acoplamiento cercano de un sistema de varios grados de libertad (Pique & Scaletti, 1991).....	29
Figura 14: Modelo simplificado de análisis .....	31
Figura 15: Planta Típica del desarrollo del proyecto (C0) .....	33
Figura 16: Ubicación del AMS en el C1-M1, C1-M2.1 y C1-M2.2 .....	35
Figura 17: Ubicación del AMS en los C1-M3 y C1-M4 .....	36
Figura 18: Ubicación del AMS en los C1-M5 y C1-M6 .....	37
Figura 19: Ubicación del AMS en el C2-M1, C2-M2 y C2-M7 .....	38
Figura 20: Ubicación del AMS en los C2-M3 y C2-M4 .....	39
Figura 21: Ubicación del AMS en los C2-M5 y C2-M6 .....	40
Figura 22: Ubicación del AMS en el C3-M1, C3-M2 y C3-M3 .....	41
Figura 23: Ubicación del AMS en los C3-M4 y C3-M5 .....	42
Figura 24: Ubicación del AMS en los C3-M6 y C3-M7 .....	43
Figura 25: Ubicación del AMS en el C4-M1, C4-M2 y C4-M3 .....	44

Figura 26:Ubicación del AMS en los C4-M4, C4-M5 y C4-M6 .....	45
Figura 27:Ubicación del AMS en el C5-M1, C5-M2 y C5-M3 .....	47
Figura 28:Ubicación del AMS en los C5-M4, C5-M5 y C5-M6 .....	48
Figura 29: Espectro de pseudoaceleración propuesta.....	50
Figura 30 Componente horizontal este -oeste (ew) de la estación PRQ (1966) sin escalar	51
Figura 31 : Componente horizontal este -oeste (ew) de la estación PRQ (1966) escalada con el SeismoMatch .....	51
Figura 32: Componente horizontal Norte -Sur (NS) de la estación PRQ (1966) sin escalar	51
Figura 33 : Componente horizontal Norte -Sur (NS) de la estación PRQ (1966) escalada con el SeismoMatch .....	51
Figura 34 Espectro de diseño de la norma E030(2018) Con factor de reducción R=1 .....	52
Figura 35 Convergencia de los registros sísmicos mediante el SeismoMatch .....	52
Figura 36 Compatibilización al espectro objetivo de los 3 sismos mediante el SeismoMatch .....	52
Figura 37: Derivas por piso del C0 en dirección X-X.....	54
Figura 38: Derivas inelásticas por piso del C0 en dirección Y-Y .....	54
Figura 39: Irregularidad Torsional para los modelos de Caso 1.....	59
Figura 40:Irregularidad Torsional Y para modelos de caso I.....	60
Figura 41: Derivas Inelásticas X – X de los modelos del caso I .....	60
Figura 42: Derivas Inelásticas Y – Y de los modelos del caso 1 .....	61
Figura 43: Excentricidad accidental de los modelos del Caso 1 .....	61
Figura 44: Periodo del primer modo de vibración de los modelos del caso 1.....	62
Figura 45: Participación de la masa en rotación del primer modo de vibración para los modelos del Caso 1.....	62
Figura 46: Aceleración rotacional Rz del diafragma del 5 nivel de los modelos de Caso 1	63
Figura 47 CASO 1:Sismo PRQ(1966) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 14 s a 26 s del punto 10 del nivel 3 .....	63
Figura 48 CASO1: PRQ(1966) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 26 s del punto 10 del nivel 3 .....	64
Figura 49 : CASO 1:Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 12 s a 24 s del punto 10 del nivel 3 .....	64
Figura 50 CASO1: Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 12 s a 24 s del punto 10 del nivel 3 .....	64

Figura 51 CASO 1:Sismo LIM(2005) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 21 s a 32 s del punto 10 del nivel 3.....	65
Figura 52 CASO 1:Sismo LIM(2005) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 35 s del punto 10 del nivel 3.....	65
Figura 53: Irregularidad Torsional para los modelos de Caso 2.....	72
Figura 54:Irregularidad Torsional Y para modelos de caso 2 .....	73
Figura 55: Derivas Inelásticas X – X de los modelos del caso I .....	73
Figura 56: Derivas Inelásticas Y – Y de los modelos del caso 1 .....	74
Figura 57: Excentricidad accidental de los modelos del Caso 1 .....	74
Figura 58: Periodo del primer modo de vibración de los modelos del caso 1.....	75
Figura 59: Participación de la masa en rotación del primer modo de vibración para los modelos del Caso 1.....	75
Figura 60: Aceleración rotacional $R_z$ del diafragma del 5 nivel de los modelos de Caso 1	76
Figura 61 CASO 2:Sismo PRQ(1966) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 21 s a 25 s del punto 10 del nivel 3.....	76
Figura 62 CASO2: PRQ(1966) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 26 s del punto 10 del nivel 3.....	77
Figura 63 CASO 2:Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 14 s a 23 s del punto 10 del nivel 3.....	77
Figura 64 CASO2: Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 12 s a 18 s del punto 10 del nivel 3.....	77
Figura 65 CASO 2:Sismo LIM(2005) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 22 s a 27 s del punto 10 del nivel 3.....	78
Figura 66: CASO 2:Sismo LIM(2005) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 22 s a 34 s del punto 10 del nivel 3.....	78
Figura 67: Irregularidad Torsional para los modelos de Caso 2.....	85
Figura 68:Irregularidad Torsional Y para modelos de caso 2 .....	86
Figura 69: Derivas Inelásticas X – X de los modelos del caso I .....	86
Figura 70: Derivas Inelásticas Y – Y de los modelos del caso 1 .....	87
Figura 71: Excentricidad accidental de los modelos del Caso 1 .....	87
Figura 72: Periodo del primer modo de vibración de los modelos del caso 1.....	88
Figura 73: Participación de la masa en rotación del primer modo de vibración para los modelos del Caso 1.....	88

Figura 74: Aceleración rotacional Rz del diafragma del 5 nivel de los modelos de Caso 1	89
Figura 75 CASO 3:Sismo PRQ(1966) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 24 s del punto 10 del nivel 3	89
Figura 76 CASO3: PRQ(1966) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 26 s del punto 10 del nivel 3	90
Figura 77 CASO 3:Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 14 s a 23 s del punto 10 del nivel 3	90
Figura 78 CASO 3: Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 12 s a 18 s del punto 10 del nivel 3	90
Figura 79 CASO 3Sismo LIM(2005) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 21 s a 32 s del punto 10 del nivel 3	91
Figura 80 CASO 3:Sismo LIM(2005) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 22 s a 34 s del punto 10 del nivel 3	91
Figura 81: Irregularidad Torsional para los modelos de Caso 2	98
Figura 82:Irregularidad Torsional Y para modelos de caso 2	99
Figura 83: Derivas Inelásticas X – X de los modelos del caso I	99
Figura 84: Derivas Inelásticas Y – Y de los modelos del caso 1	100
Figura 85: Excentricidad accidental de los modelos del Caso 1	100
Figura 86: Periodo del primer modo de vibración de los modelos del caso 1	101
Figura 87: Participación de la masa en rotación del primer modo de vibración para los modelos del Caso 1	101
Figura 88: Aceleración rotacional Rz del diafragma del 5 nivel de los modelos de Caso 1	102
Figura 89 CASO 4:Sismo PRQ(1966) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 24 s del punto 10 del nivel 3	102
Figura 90 CASO4: PRQ(1966) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 26 s del punto 10 del nivel 3	103
Figura 91 CASO 4:Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 14 s a 23 s del punto 10 del nivel 3	103
Figura 92 CASO 4: Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 12 s a 18 s del punto 10 del nivel 3	103
Figura 93 CASO 4Sismo LIM(2005) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 21 s a 32 s del punto 10 del nivel 3	104

Figura 94 CASO 4:Sismo LIM(2005) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 22 s a 37 s del punto 10 del nivel 3.....	104
Figura 95: Irregularidad Torsional para los modelos de Caso 2.....	111
Figura 96:Irregularidad Torsional Y para modelos de caso 2 .....	112
Figura 97: Derivas Inelásticas X – X de los modelos del caso I .....	112
Figura 98: Derivas Inelásticas Y – Y de los modelos del caso 1 .....	113
Figura 99: Excentricidad accidental de los modelos del Caso 1 .....	113
Figura 100: Periodo del primer modo de vibración de los modelos del caso 1.....	114
Figura 101: Participación de la masa en rotación del primer modo de vibración para los modelos del Caso 1.....	114
Figura 102: Aceleración rotacional $R_z$ del diafragma del 5 nivel de los modelos de Caso 1 .....	115
Figura 103 CASO 5:Sismo PRQ(1966) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 24 s del punto 10 del nivel 3.....	115
Figura 104 <b>CASO5:</b> PRQ(1966) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 26 s del punto 10 del nivel 3.....	116
Figura 105 CASO 5:Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 14 s a 23 s del punto 10 del nivel 3.....	116
Figura 106 CASO 5: Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 12 s a 18 s del punto 10 del nivel 3.....	116
Figura 107 CASO 5:Sismo LIM(2005) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección X (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 22 s a 37 s del punto 10 del nivel 3.....	117
Figura 108 CASO 5:Sismo LIM(2005) con $T_r= 475$ años : Aceleración en dirección Y (cm/s <sup>2</sup> )respecto del tiempo(s) en un rango de 22 s a 37 s del punto 10 del nivel 3.....	117
Figura 109: Mejores casos de las derivas inelásticas de los 5 casos de análisis comparado con el caso inicial .....	118
Figura 110: Peores casos de las derivas inelásticas de los 5 casos de análisis comparado con el caso inicial .....	119
Figura 111: Mejores casos de masa participativa en rotación del primer modo de vibración .....	120
Figura 112: Peores casos de la masa participativa en rotacional en el primer modo de vibración.....	120
Figura 113:Mejores modelos de cada caso en la variación de la excentricidad torsional ..	121

Figura 114:Comparación de la variación de la excentricidad accidental de los mejores resultados de los modelos de cada caso.....	122
Figura 115 Sismo PRQ(1966) con $T_r= 475$ años: Reducción de la fuerza cortante $V_2$ en dirección X de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0) .....	123
Figura 116 Sismo PRQ(1966) con $T_r= 475$ años: Reducción de la fuerza cortante $V_3$ en dirección Y de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0).....	123
Figura 117 Sismo PRQ(1966) con $T_r= 475$ años: Reducción del momento torsional de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0) .....	124
Figura 118 Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años: Reducción de la fuerza cortante $V_2$ en dirección X de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0) .....	125
Figura 119 Sismo MOL(1974)con $T_r= 475$ años: Reducción de la fuerza cortante $V_3$ en dirección Y de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0).....	126
Figura 120 Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años: Reducción del momento torsional de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0) .....	126
Figura 121 Sismo MOL(1974) con $T_r= 475$ años: Reducción de la fuerza cortante $V_2$ en dirección X de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0) .....	127
Figura 122 Sismo LIM(2005)con $T_r= 475$ años: Reducción de la fuerza cortante $V_3$ en dirección Y de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0).....	128
Figura 123 Sismo LIM(2005) con $T_r= 475$ años: Reducción del momento torsional de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0) .....	128

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Irregularidad Torsional, $I_p=0.75$ .....	6
Ecuación 2: Irregularidad Torsional, $I_p=0.60$ .....	6
Ecuación 3: Irregularidad por esquinas entrantes, $I_p=0.90$ .....	7
Ecuación 4: Irregularidad por discontinuidad del diafragma, $I_p=0.85$ .....	7
Ecuación 5: Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas, R .....	8
Ecuación 6: Relación de masa .....	16
Ecuación 7: Relación de frecuencias .....	16
Ecuación 8: Relación de frecuencia óptima .....	17
Ecuación 9: Relación de amortiguamiento óptima.....	17
Ecuación 10: Cálculo para el Espectro de Respuesta .....	21
Ecuación 11: Derivas de la norma Nch 433 Of96 .....	21
Ecuación 12: Ecuación matricial para un modelo de vibración forzada de varios grados de libertad .....	29
Ecuación 13: Matriz de masas .....	30
Ecuación 14: Matriz de rigidez.....	30
Ecuación 15: Ecuación de Fuerza estacionaria.....	30
Ecuación 16: Desplazamiento y velocidad inicial .....	30
Ecuación 17: Relación de frecuencia con la Rigidez y Masa.....	31

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación del periodo de vibración del modelo simplificado sin AMS .....	31
Tabla 2: Comparación del periodo de vibración del modelo simplificado con AMS .....	32
Tabla 3: Diseño de la investigación.....	33
Tabla 4: Caso 0.....	34
Tabla 5: Caso 1 .....	37
Tabla 6: Caso 2.....	40
Tabla 7: Caso 3 .....	43
Tabla 8: Caso 4.....	45
Tabla 9: Caso 4.....	48
Tabla 10: Datos para el espectro de pseudoaceleración de la norma sismorresistente de Perú .....	49

Tabla 11: Comparación de los desplazamientos máximos y los desplazamientos promedios del C0.....	53
Tabla 12: Masa por piso del C0.....	55
Tabla 13: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M1 .....	56
Tabla 14: Dimensiones del AMS – C1M1 .....	56
Tabla 15: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M2.1 .....	56
Tabla 16: Dimensiones del AMS – C1M2.1 .....	56
Tabla 17: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M2.2 .....	56
Tabla 18: Dimensiones del AMS – C1M2.2 .....	57
Tabla 19: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M3 .....	57
Tabla 20: Dimensiones del AMS – C1M3 .....	57
Tabla 21: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M4 .....	57
Tabla 22: Dimensiones del AMS – C1M4 .....	58
Tabla 23: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M5 .....	58
Tabla 24: Dimensiones del AMS – C1M5 .....	58
Tabla 25: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M6 .....	58
Tabla 26: Dimensiones del AMS – C1M6 .....	59
Tabla 27: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M1 .....	66
Tabla 28: Dimensiones del AMS – C2M1 .....	66
Tabla 29: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M2 .....	66
Tabla 30: Dimensiones del AMS – C2M2 .....	67
Tabla 31: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M7 .....	67
Tabla 32: Dimensiones del AMS – C2M7 .....	68
Tabla 33: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M3 .....	68
Tabla 34: Dimensiones del AMS – C2M3 .....	69
Tabla 35: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M4 .....	69
Tabla 36: Dimensiones del AMS – C2M4 .....	70
Tabla 37: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M5 .....	70
Tabla 38: Dimensiones del AMS – C2M5 .....	71
Tabla 39: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M6 .....	71
Tabla 40: Dimensiones del AMS – C1M5 .....	72
Tabla 41: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M1 .....	79
Tabla 42: Dimensiones del AMS – C2M1 .....	79

Tabla 43: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M2 .....	79
Tabla 44: Dimensiones del AMS – C2M2 .....	80
Tabla 45: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M7 .....	80
Tabla 46: Dimensiones del AMS – C2M7 .....	81
Tabla 47: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M3 .....	81
Tabla 48: Dimensiones del AMS – C2M3 .....	82
Tabla 49: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M4 .....	82
Tabla 50: Dimensiones del AMS – C2M4 .....	83
Tabla 51: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M5 .....	83
Tabla 52: Dimensiones del AMS – C2M5 .....	84
Tabla 53: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M6 .....	84
Tabla 54: Dimensiones del AMS – C1M5 .....	85
Tabla 55: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M1 .....	92
Tabla 56: Dimensiones del AMS – C2M1 .....	92
Tabla 57: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M2 .....	93
Tabla 58: Dimensiones del AMS – C2M2 .....	93
Tabla 59: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M7 .....	93
Tabla 60: Dimensiones del AMS – C2M7 .....	94
Tabla 61: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M3 .....	94
Tabla 62: Dimensiones del AMS – C2M3 .....	95
Tabla 63: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M4 .....	95
Tabla 64: Dimensiones del AMS – C2M4 .....	96
Tabla 65: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M5 .....	96
Tabla 66: Dimensiones del AMS – C2M5 .....	97
Tabla 67: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M6 .....	97
Tabla 68: Dimensiones del AMS – C1M5 .....	98
Tabla 69: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M1 .....	105
Tabla 70: Dimensiones del AMS – C2M1 .....	105
Tabla 71: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M2 .....	105
Tabla 72: Dimensiones del AMS – C2M2 .....	106
Tabla 73: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M7 .....	106
Tabla 74: Dimensiones del AMS – C2M7 .....	107
Tabla 75: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M3 .....	107

Tabla 76: Dimensiones del AMS – C2M3 .....	108
Tabla 77: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M4 .....	108
Tabla 78: Dimensiones del AMS – C2M4 .....	109
Tabla 79: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M5 .....	109
Tabla 80: Dimensiones del AMS – C2M5 .....	110
Tabla 81: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M6 .....	110
Tabla 82: Dimensiones del AMS – C1M5 .....	111

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1.Planteamiento del Problema:

La cantidad de catástrofes naturales ha aumentado significativamente durante los últimos años. Dentro de los más trascendentes se encuentra los terremotos, los cuales debido a su intensidad afectan directamente las infraestructuras (Bevere, y otros, 2019).

Perú es afectado por sismos de subducción debido a su posición geográfica localizada en la convergencia de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana (Guardia, 2011) donde los terremotos de mayor importancia ocurrieron en su capital.

Lima tiene registrado el sismo más grande ocurrido en su historia, el cual se dio en 1746 y destruyó la ciudad de Lima en su totalidad seguido de un tsunami que inundó gran parte del Callao (Silgado, 1978). Desde aquel terremoto, hubo un silencio sísmico de casi dos siglos. La actividad sísmica reapareció frente a las costas de Lima con los terremotos de 1966 (8.1 Mw) y 1974 (8.0 Mw), estos fueron registrados en la estación sísmica “Parque de la Reserva” (PQR) (Ríos, 2018).

La población Limeña cuenta con la tercera parte de toda la población de Perú (INEI, 2017) debido al país centralista. Además, presenta la mayor tasa de financiamiento en infraestructura educativa (ESCALE, 2016) y las menores tasas de desempleo a comparación de las demás regiones (INEI, 2019). Asimismo, está proyectada a aumentar en 6% la inversión en la construcción para el 2020 (Anonimo, 2019).

Ante dicha situación, Lima se encuentra desarrollando la construcción de edificios multifamiliares, tanto en sector público y privado, para atender la demanda poblacional presente y futura. Por esto, las propuestas de arquitectura se adecuan a infraestructuras asimétricas, a pesar de que estructuralmente son las más perjudiciales sísmicamente.

Las estructuras asimétricas sufren más daño que sus contrapartes regulares (Wakchaure, Shirish, & Nikam, 2012), debido a que son más susceptibles a mayores vibraciones. Este efecto conduce un aumento de los esfuerzos en las secciones, y en aumentar la probabilidad de un colapso de la infraestructura. Sin embargo, existen sistemas sismorresistentes que facilitan la aplicación de dichos requerimientos arquitectónicos.

## **1.2. Objetivos e Hipótesis**

### 1.2.1. Hipótesis

Se reduce la respuesta sísmica en su efecto torsional en plantas irregulares aplicando el sistema Amortiguadores de masa sintonizada (AMS).

### 1.2.2. Objetivo General

Determinar cómo varían las respuestas sísmicas en su efecto torsional ante distintas condiciones de amortiguamiento de masa sintonizada.

### 1.2.3. Objetivos Específicos

1. Determinar la variación de la respuesta sísmica en su efecto torsional entre una estructura irregular sin AMS y con AMS con una masa concentrada (condición 1).
2. Comparar la condición inicial del AMS de masa concentrada con distribuciones alternas en la ubicación de planta y obtener una óptima ubicación del AMS.
3. Determinar patrones referenciales para la ubicación y uso del AMS en el análisis estructural de edificaciones.

## **1.3. Limitaciones:**

- 1) No se desarrolla el análisis no lineal, ya que el planteamiento del sistema de control será un comportamiento esfuerzo - deformación lineal. Para métodos prácticos en sentido de reducir la complejidad del análisis.

- 2) El desarrollo del análisis no contempla los espectros de respuestas de sismos catalogados, según su nivel de desempeño, muy raros debido a que la normativa peruana (E030) esta direccionada a sismos raros de periodos cortos. Los sismos muy raros tienen como comportamiento estructural severa con incursiones inelásticas, lo cual es una pérdida casi total de la rigidez y resistencia. Asimismo, estos no resultan prácticos para reparaciones (Muñoz, Zavala, & Zegarra, 2009).
- 3) No se evaluará el efecto de torsión ante el viento, dado que en Perú la relevancia de los efectos de este es menor a comparación de los sismos.
- 4) Este estudio no incorpora el comportamiento inelástico de los suelos, ni la distribución espacial de los sismos (recurrencia) y temporal, así como las relaciones de atenuación (Muñoz, Zavala, & Zegarra, 2009). Es decir, no refleja un estudio de peligro sísmico.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Vulnerabilidad sísmica en Lima**

Evaluar la vulnerabilidad sísmica está directamente influenciada con el nivel de amenaza existente en la zona e indirectamente con la información disponible sobre las estructuras y los datos relacionados con los daños observados durante sismos que han afectado a la zona de interés (Herrera, Vielma, & Pujades, 2014). Parte de estas variables determinan el daño esperado considerando que ocurra en un sismo (Yepez, Barat, & Canas, 1995) y se reduzca el daño mediante soluciones que establezcan disminuir las pérdidas que pudiesen ocasionar un futuro terremoto (Herrera, Vielma, & Pujades, 2014).

Al respecto, (Herrera, Vielma, & Pujades, 2014) señalan que:

Estas soluciones repercutirán en un coste económico, el cual no se comparará con las posibles pérdidas. Sin embargo, la decisión de realizar inversiones de mejora y reforzamiento de dichas estructuras no se toma solo en función de un criterio de beneficio costo sino también de criterios socioeconómicos. Por este motivo, los estudios de vulnerabilidad sísmica constituyen, juntamente con los estudios de amenaza o peligrosidad, uno de los factores determinantes del riesgo sísmico específico, el cual representa la probabilidad total de que una estructura sufra varios niveles de daño durante un periodo específico de tiempo (p. 5).

## **2.2. Irregularidad en planta de las edificaciones y el efecto torsional ante respuestas sísmicas**

Una edificación tiene mayor vulnerabilidad sísmica si presenta irregularidades tanto en planta como en elevación.

La irregularidad en planta ante una respuesta sísmica presenta diversos tipos de falla. Uno de los mayores casos frecuentes son las fallas torsionales. La torsión es un fenómeno de equilibrio mecánico entre las deformaciones estructurales como rotaciones de plantas horizontales de la edificación y sollicitaciones resultantes en eje vertical, denominado pares de fuerza (Medina & Medina, 2017). Es decir, los suelos no solo se trasladan lateralmente, sino que también giran alrededor de un eje vertical (Rashidi, Majid, Fadzli, Faisal, & Noor, 2017).

Asimismo, el comportamiento torsional en los edificios es producto de distintos efectos como la no uniformidad de la masa, rigidez y/o resistencia. Incluso para estructuras diseñadas para

ser perfectamente regulares, el movimiento de cargas vivas alrededor de la estructura puede causar un efecto de torsión que a su vez cambia las demandas sísmicas de los edificios, y genera consecuencias graves como el colapso de las estructuras en terremoto (Rashidi, Majid, Fadzli, Faisal, & Noor, 2017). Por otro lado, en edificios esbeltos se origina la torsión por el efecto eólico, sobre todo cuando éstos presentan características geométricas o dinámicas que incrementan la susceptibilidad ante las ráfagas de viento (Vladimir, 2016). Es más, en estructuras dúctiles la principal consecuencia de la torsión del piso es una demanda desigual de desplazamientos laterales en los elementos de la estructura (Rashidi, Majid, Fadzli, Faisal, & Noor, 2017).

Una respuesta torsional se anula si el centro de masa de la superestructura se ubica en la misma proyección del centro de rigideces del sistema de aislamiento (Aguilar, 2018).

Todo parte de la estructuración de las edificaciones que en mayoría son irregulares dando lugar a la excentricidad (Aguilar, 2018)

Perú presenta una Norma técnica de Diseño Sismorresistente donde indica pautas para identificar si una edificación presenta irregularidades por planta y cada uno está representado por un factor de irregularidad de planta ( $I_p$ ) y se opta por el menor valor de todos los casos. El primer caso es la irregularidad torsional, se da cuando el desplazamiento relativo máximo ( $\Delta_{m\acute{a}x}$ ) es mayor al 1.3 veces el desplazamiento relativo promedio ( $\Delta_{prom}$ ) y este criterio se da cuando el desplazamiento máximo relativo ( $\Delta_{m\acute{a}x}$ ) es mayor que el 50% del desplazamiento permisible (Ecuación 1) , si cumple con tales características la irregularidad de planta toma el valor de 0.75 (E030, 2018).

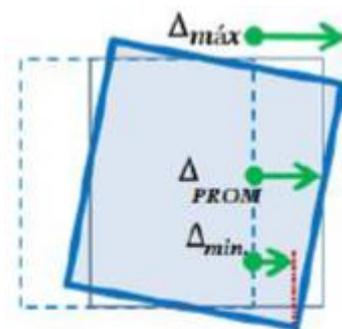


Figura 1: Desplazamiento relativo máximo ( $\Delta_{máx}$ ), desplazamiento relativo promedio ( $\Delta_{prom}$ ) y desplazamiento relativo mínimo ( $\Delta_{mín}$ )

Ecuación 1: Irregularidad Torsional,  $I_p=0.75$

$$\frac{\Delta_{máx}}{h_i} > 1.3 \frac{\Delta_{prom}}{h_i} \text{ y } \frac{\Delta_{máx}}{h_i} > 0.5 \left( \frac{\Delta}{h} \right) \text{ permisible}$$

El segundo caso es la irregularidad torsional extrema, el cual es similar al anterior, se da cuando el desplazamiento relativo máximo ( $\Delta_{máx}$ ) es mayor al 1.5 veces el desplazamiento relativo promedio ( $\Delta_{prom}$ ) y este criterio se da cuando el desplazamiento máximo relativo ( $\Delta_{máx}$ ) es mayor que el 50% del desplazamiento permisible (Ecuación 2), si cumple con tal características la irregularidad de planta toma el valor de 0.60 (E030, 2018).

Ecuación 2: Irregularidad Torsional,  $I_p=0.60$

$$\frac{\Delta_{máx}}{h_i} > 1.5 \frac{\Delta_{prom}}{h_i} \text{ y } \frac{\Delta_{máx}}{h_i} > 0.5 \left( \frac{\Delta}{h} \right) \text{ permisible}$$

El tercer caso es de esquinas entrantes, el cual se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que el 20% (Figura 2) de la correspondiente dimensión total de la planta (Ecuación 3), el valor que toma dicha irregularidad es de 0.90 (E030, 2018).

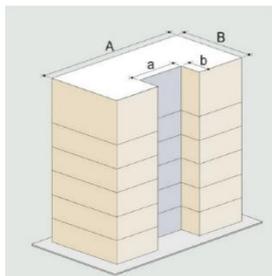


Figura 2: Irregularidad por esquina entrante (Muñoz, Norma Peruana de Diseño Sismorresistente NTE.030 2018, 2018)

Ecuación 3: Irregularidad por esquinas entrantes,  $I_p=0.90$

$$a > 0.2A \text{ y } b > 0.2B$$

El cuarto caso es irregularidad por discontinuidad del diafragma, el cual se presenta cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50% del área bruta del diafragma y si se da el factor es 0.85 (E030, 2018).

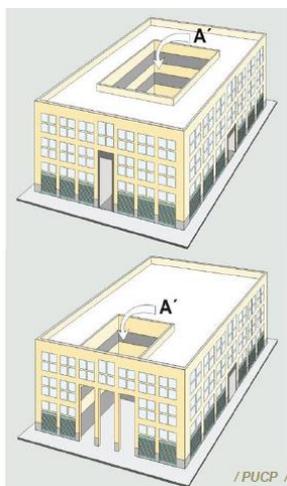


Figura 3: Irregularidad por discontinuidad del diafragma (Muñoz, Norma Peruana de Diseño Sismorresistente NTE.030 2018, 2018).

Ecuación 4: Irregularidad por discontinuidad del diafragma,  $I_p=0.85$

$$A' > 50\% A_{Total}$$

El quinto caso de irregularidad es de sistemas no paralelos, el cual existe cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resisten a fuerzas laterales no paralelas. No aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos menores que 30° ni cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10% de la fuerza cortante del piso, para este caso el factor es de 0.90 (E030, 2018).

El valor que adopte el factor de irregularidad afectara al coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas ( $R_0$ ) (Ecuación 5), este coeficiente se aplica únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplica a estructuras de péndulo invertido (E030, 2018).

Siendo “ $I_a$ ” el factor de irregularidad en altura.

*Ecuación 5: Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas, R*

$$R = R_0 \times I_a \times I_p$$

Cabe mencionar, que la irregularidad de planta es un factor importante a considerar para el análisis sísmico, debido a que genera una excentricidad entre el centro de masas del piso y su centro de rigidez. Donde el centro de rigidez es el punto donde al aplicar la fuerza horizontal el sistema estructural resistente a carga lateral se desplaza sin rotar y el centro de masa es donde se concentra la masa de la estructura (Medina & Medina, 2017).

### **2.3.Excentricidad accidental**

Según la normativa peruana, el centro de masa se representa en una excentricidad accidental perpendicular a la dirección del sismo igual a 0.05 veces la dimensión del edificio (E030, 2018).

En la (Figura 4) se muestra un caso típico de torsión en planta en el que el centro de rigidez no coincide con el centro de masas, por lo que se genera un gran momento torsor.

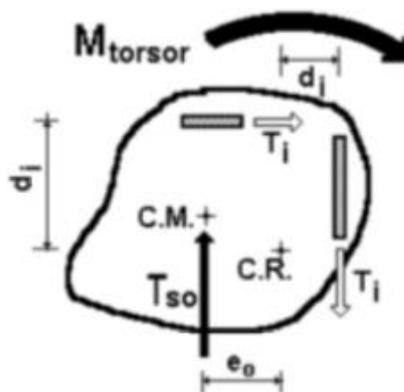


Figura 4: Excentricidad entre el C. Masa y C. Rigidez (Medina & Medina, 2017)

Las excentricidades de resistencia (CS) y las excentricidades de rigidez (CR) son los dos parámetros principales que se consideran en el diseño sísmico del edificio. Mediante varios estudios el CS está al lado opuesto del CR con la misma excentricidad (ubicación de CS-CR equilibrada). Este criterio se utiliza para minimizar la torsión del edificio asimétrico. Al respecto Stefano y Pintucchi (2010) consideraron colocar el CS y el CR en el mismo lado utilizando un modelo de una sola planta y teniendo en cuenta el hecho de que la fuerza total se distribuye proporcionalmente entre los elementos verticales de resistencia (Rashidi, Majid, Fadzli, Faisal, & Noor, 2017). Además, para considerar los efectos de torsión representados en edificios reales, el CS se ha colocado a mitad de camino entre el CR y el CM que se traduce en una distribución de fuerza más equilibrada (Rashidi, Majid, Fadzli, Faisal, & Noor, 2017).

“Se han realizado importantes trabajos paramétricos para cuantificar y / o predecir el efecto de la irregularidad torsional considerando CS y CR. Sin embargo, en gran medida se utilizan análisis 2-D” (Rashidi, Majid, Fadzli, Faisal, & Noor, 2017).

## **2.4. Porcentaje de masa participativa modal en rotación Rz en el primer modo de vibración**

Para considerar los efectos de torsión accidental que afectan al sistema, una variable a determinar es el porcentaje de participación modal de la masa en rotación Rz respecto al primer modo de vibración es mayor al 30% (Placencia, 2015), ya que la estructura debería de vibrar en traslación X e Y. Para determinar el porcentaje de masa predominante en traslación Ux, Uy, evaluado en los dos primeros modos de vibración deberían presentar magnitud mayor a valores cercanos al 80% (Medina & Medina, 2017).

De acuerdo con estudios cuando el porcentaje de masa participativa modal en rotación Rz en el primer modo los momentos torsores son altos generando a los elementos del sistema estructural principal resistente a carga lateral e inducen a los mismos a fallar de forma frágil, sobre todo en columnas y muros más apartados del centro de torsión (Medina & Medina, 2017).

## **2.5. Sistema de control**

### **2.5.1. Tipos**

Ante las acciones sísmicas se ha planteado sistemas de control como alternativa al diseño sismorresistente convencional, basado en la simetría, peso mínimo, resistencia adecuada frente a cargas laterales, ductilidad, condiciones locales y la buena práctica constructiva (E030, 2018). Los sistemas sismorresistentes avanzados tienen por objetivo mitigar los desplazamientos de una estructura haciendo uso de varios de los siguientes factores (Cahis,2000).

- La disipación de energía introducida al sistema a partir de dispositivos mecánicos.
- El control con dispositivos que ejerzan fuerzas contra restantes a la acción sísmica.

Los sistemas de control sísmica se clasifican de acuerdo con la ISO 3010 International Standard “Basis for design of structures - Seismic action on structures”, consiste en tres sistemas de control de respuesta sísmica; control pasivo, control activo e híbrido y control semiactivo, tal como se muestra en la figura (Oviedo,2006).

Técnicas de control	Tipo	Tipo	Dispositivo
Control pasivo	Aislamiento sísmico	Mecanismos deslizantes o de rodillos	Apoyo en rodillos
			Apoyo en placa deslizante, tipo péndulo, basculantes.
			Capa deslizante
		Elemento flexible	Otro
			Elastómero de multicapas
			Dispositivo flexible
	Disipación de energía	De tipo histérico, HD	Acero
			Plomo
			Otros
		De tipo friccionante	Hidráulico
			De tipo fluido
			Viscoso, VD
	Efecto masa adicional	De tipo visco elástico	Otro
De masa y resorte AMS			
De tipo pendular		Vibración de líquido TLD	
		Otro	
Control semiactivo	Control de amortiguamiento	Sistema de amortiguamiento variable	De tipo hidráulico
		Otro	
	Control de rigidez	Sistemas de rigidez variable	Riostra
		Otro	
	Control activo e híbrido	Efecto de masa	Amortiguamiento activo de masa, AMD
Amortiguamiento híbrido de masa, HMD			
Control de fuerza		Tendón activo	
		Otro	
Otro			

Figura 5: Clasificación de las técnicas de control de respuesta sísmica (Oviedo y Duque, 2006)

#### 2.5.1.1. Sistemas de control pasivo.

Los sistemas pasivos son elementos de carácter reactivo cuya respuesta no es controlable y depende únicamente de condiciones de trabajo en que se encuentre (Aliante,2009). Además, el funcionamiento del control pasivo es intervenir en las propiedades dinámicas de la edificación. Entre sus ventajas se encuentra su competitividad económica y la robustez de su comportamiento (Oviedo 2006).

#### 2.5.1.2. Sistema de control semiactivo

Los sistemas semiactivos tienen comportamiento de funcionamiento muy similar a los sistemas activos, diferenciándose de éstos en que el control estructural se obtiene a partir de dispositivos de carácter reactivo, cuyas características mecánicas son controlables, lo cual permite modificar las propiedades dinámicas de la estructura con costos energéticos

muy reducidos. Las técnicas de control empleadas por los sistemas semiactivos son: la fricción variable, el movimiento de masa de líquido en el interior de tanques o columnas dentro del edificio, dispositivos hidráulicos u oleodinámicos de rigidez o amortiguamiento variable y amortiguadores con fluidos de viscosidad controlable a partir de campos eléctricos o magnéticos (Oviedo 2006).

#### 2.5.1.3.Sistemas de Control Activo.

Un sistema de control estructural activo consiste en empleo de sensores situados en la propia estructura para medir variables correspondientes a la excitación externa, o variables de la respuesta estructural, sistemas controladores basado en las medidas de los sensores y a través de un algoritmo de control, calculan la fuerza a aplicar por los actuadores para contrarrestar los efectos sísmico; y los actuadores, habitualmente alimentados por fuentes de energía externas, para ejercer las fuerzas.

En comparación con los sistemas pasivos, los sistemas activos presentan numerosas ventajas como una mayor efectividad en el control de la respuesta estructural; la efectividad menos sensible a las condiciones del suelo y a las características del terremoto, aplicaciones ante sollicitaciones diversas, un sistema activo puede ser usado tanto para control estructural ante vientos fuertes como terremotos y selección de los objetivos de control; lo cual permite enfatizar, por ejemplo, el confort humano sobre otros aspectos del movimiento estructural en momentos no críticos, e incrementar la seguridad estructural ante una acción dinámica severa.

Sin embargo, presenta serios inconvenientes como el elevado costo en mantenimiento, dependencias respecto a fuentes de alimentación externas, la respuesta dinámica de edificios con muchos grados de libertad y un posible comportamiento no lineal resulta

imprevisible, y su control a partir de un número limitado de sensores y actuadores plantea un problema dinámico complejo (Oviedo 2006).

### **2.5.2. Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS)**

El diseño arquitectónico cambiante durante la vida útil de la edificación, los costos y la practicidad definen una tendencia constructiva liviana de grandes luces y con una relación alta de tabiques respecto a la edificación. Las razones estéticas definen estructuras delgadas con escasos apoyos que pueda interferir con la habitabilidad o la belleza.

Desde el punto de vista estructural, esto conduce naturalmente a altas flexibilidades, períodos naturales elevados y consecuentemente a grandes desplazamientos por cargas dinámicas tales como sismo. La inclusión de dispositivos de control mecánicos en las estructuras puede reducir adecuadamente sus propiedades, de manera que la respuesta dinámica sea compatible con las necesidades estructurales (Aliante,2009).

La modificación de la rigidez, la masa o el amortiguamiento es una alternativa para solucionar esos problemas. En el primer y segundo caso, se logra un corrimiento de las frecuencias propias que desintonizan la estructura del rango de frecuencias donde la energía espectral es preponderante. El incremento de amortiguamiento es en ingeniería sísmica un hecho asociado al propósito de aumentar artificialmente la ductilidad, con la finalidad de mitigar energía en forma controlada y estable, reduciendo la respuesta estructural dinámica (Bozzo y Barat, 2000).

Una alternativa muy interesante y eficaz para amortiguar los efectos vibratorios que ingresa a una estructura ser incorporados sin mayores inconvenientes a la estructura (Aliante,2009). Es decir, la verificación analítica y experimental de la transferencia de energía de un sistema principal excitado externamente a otro sistema secundario no excitado, acoplado al primero, da origen a los AMS (Den Hartog, 1985).

Los AMS que ya están definitivamente probadas su eficiencia en la reducción de vibraciones provenientes de acciones de viento y su aplicación comienza a ser corriente en este tipo de problemas. Sin embargo, todavía se encuentra en discusión la eficiencia de los AMS sujetos a distintas variables en relación con acciones sísmicas.

“En este sentido, Villaverde R and L.A. Koyama, 1993. (Original no consultado, citado por: Ambrosini et al. 2004), demostraron que el esfuerzo de corte en la base de un edificio de período 2s, analizado en forma lineal se reduce en un 40% cuando es instalado un AMS” (Carcamo, 2011). Por otra parte, Soto-Brito and S. E. Ruiz (1999), analizan la no linealidad edificaciones con AMS indican que la respuesta pico no se reduce significativamente (Carcamo, 2011).

Por último, Pinkaew et al. (2003), en estructuras sometidas a daño los parámetros a estudiar no deben basarse en la reducción del daño y no en la reducción del pico de la respuesta. Además, estos autores sostienen que la eficiencia de los AMS está demostrada en el caso de sismos de larga duración y contenido de frecuencia de banda angosta (Carcamo, 2011).

De tal manera que el amortiguador de masa sintonizada (AMS) es una herramienta ingenieril que consiste en una masa, un resorte y un amortiguador viscoso colocados en el sistema vibrante principal para atenuar la vibración no deseada a una frecuencia determinada (Aliante,2009).

Una configuración típica de un AMS unidireccional es la masa sobre una superficie ejerciendo desplazamiento lateral relativo entre esta y el piso. Asimismo, los resortes y el amortiguamiento entre la masa y los soportes adyacentes. Estos son los encargados de transmitir la fuerza fuera de fase a los pórticos (Carcamo, 2011).

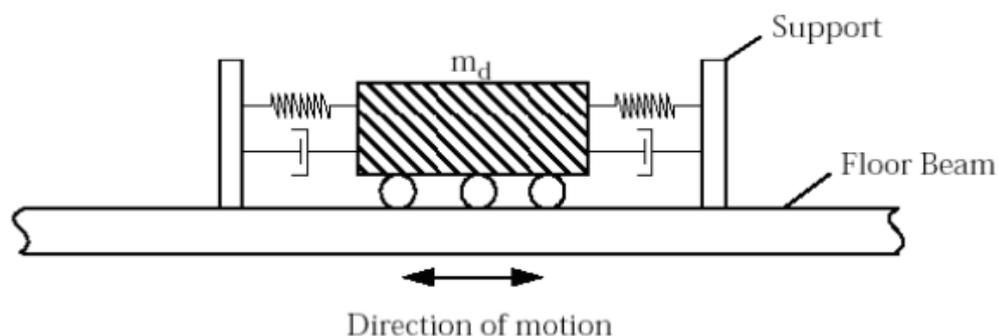


Figura 6: Diagrama esquemático de un Amortiguador de masa sintonizada

La frecuencia natural del amortiguador se sintoniza con la frecuencia natural del sistema principal provocado que el amortiguador vibre en resonancia disipando la energía absorbida a través de los mecanismos de amortiguamiento del AMS (Ambrosini, 2004). Además, los AMS obtienen mayor efectividad cuando la frecuencia de la estructura es sintonizada a la del modo predominante o al de mayor factor de participación. Por otro lado, puede ocurrir que los desplazamientos correspondientes al primer modo de la respuesta se reduzcan considerablemente, mientras que los desplazamientos de los modos altos se incrementan cuando el número de pisos aumenta. Esta dificultad se soluciona colocando varios AMS que cubren una banda de frecuencias (MAMS) (Carcamo, 2011)

En otros estudios como el de Lin et al. (1999) consideran el efecto de la distancia del AMS al centro de masa como factor reductor de la vibración, además indican que un solo AMS para reducir traslación y rotación de edificios altos bajo la acción de sismos, pero se necesita un segundo AMS en edificios ( $N.^{\circ}$  grados de libertad) con rigidez similar en las dos direcciones principales. Estos desarrollos teóricos se probaron en un edificio de cinco pisos asimétrico bajo la acción de cinco terremotos reales (Inga, 2015). Posteriormente, Li y Qu (2006) argumentan que la aplicación de múltiples AMS con distinta masa y el resto de los parámetros igual de una estructura asimétrica de dos grados de libertad que en el control de

la relación de frecuencia torsional y traslacional que denominan TTFR, a través de la cual definen las estructuras asimétricas como torsionalmente elásticas cuando  $TTFR < 1$ , torsionalmente intermedias cuando  $TTFR = 1$  y torsionalmente rígidas cuando  $TTFR > 1$  (Inga, 2015).

Se observa cómo influye el AMS en el comportamiento de una estructura de 1GDL sometida a una fuerza sinusoidal.

Frente a acciones sísmicas no se tiene un problema de fatiga. La principal dificultad es que la excitación tiene componentes en un rango amplio de frecuencias y no se puede entonces lograr la misma eficiencia del AMS. Podría sin embargo mejorarse el comportamiento utilizando múltiples AMS, sintonizados a las frecuencias de los modos más significativos en la respuesta y en las posiciones en las que las correspondientes formas modales tienen mayores amplitudes.

#### 2.5.2.1. Parámetros Óptimos del AMS

Para determinar los parámetros óptimos del AMS se determinó los parámetros según el porcentaje de masa del amortiguador, ya que estas reducen los desplazamientos absolutos de una estructura (Hoang, Fujino, & Warnitchai, 2008).

Donde la masa del amortiguador ( $m_d$ ), la masa de la estructura ( $m_s$ ), la frecuencia del amortiguador ( $\omega_d$ ) y frecuencia de la estructura ( $\omega_s$ ).

*Ecuación 6: Relación de masa*

$$\mu = \frac{m_d}{m_s}$$

*Ecuación 7: Relación de frecuencias*

$$\gamma = \frac{\omega_d}{\omega_s}$$

Para determinar los parámetros de frecuencia óptima y amortiguamiento óptimo respecto a la relación de masa.

*Ecuación 8: Relación de frecuencia óptima*

$$\gamma^{opt} = \frac{\sqrt{1 - \frac{\mu}{2}}}{1 + \mu}$$

*Ecuación 9: Relación de amortiguamiento óptima*

$$\xi_d^{opt} = \sqrt{\frac{\mu(1 - \frac{\mu}{4})}{4(1 + \mu)(1 - \frac{\mu}{2})}}$$

Estas ecuaciones son adecuadas para el análisis de un un amortiguador de masaa sintonizado acoplado, lo cual reduce en un gran porcentaje los desplazamientos de la estructura (Hoang, Fujino, & Warnitchai, 2008).

#### 2.5.2.2.Aplicaciones

A pesar de las aplicaciones de los sistemas de control, los amortiguadores de masa sintonizada han sido utilizados para mejorar la respuesta estructural de edificios excitados bajo cargas horizontales como el sismo o viento. A continuación, se describirán los principales tipos de edificaciones con el sistema del AMS.

##### 2.5.2.2.1. John Hancock Tower (Engineering News Record, octubre 1975)

Dos amortiguadores fueron instalados en la torre John Hancock de sesenta pisos, ubicada en Boston. Los amortiguadores se colocaron en forma ortogonal en el piso número 58 para contrarrestar el movimiento lateral-torsional producto de la forma del edificio. Cada

amortiguador pesa 2700 kN y consiste en una caja de 5.2m de lado con 1m de profundidad, el cual se desplaza sobre una placa de acero de 9 m de longitud. La masa del amortiguador se encuentra lateralmente restringida por resortes anclados a las columnas interiores del edificio. La masa oscila linealmente sobre una delgada película de aceite el cual es introducido por orificios provistos en la placa de acero. Cuando la aceleración horizontal excede los 0.003 g para dos ciclos consecutivos, el sistema es activado automáticamente. Este sistema fue diseñado y construido por LeMessurier Associates/SCI en asociación con MTS System Corp., y costó alrededor de tres millones de dólares, esperando reducir la respuesta del edificio entre un 40% a un 50% (Yefi, 2011).



*Figura 7:* Amortiguador de Masa Sintonizada en John Hancock Tower (LeMessurier, 2019)

#### 2.5.2.2.2. Taipéi 101

Taipéi 101 es un gran logro para la arquitectura e ingeniería mundial. Elementos tradicionales de China han sido integrados a este moderno edificio. La torre con una altura total de 508 m, supera los 412.400 m<sup>2</sup> de espacio para centros comerciales, oficinas y habitaciones. El edificio está estructurado en base a super columnas que contienen concreto de refuerzo hasta el nivel 62, lo cual involucra un total de 95.000 toneladas de acero y 23.900m<sup>3</sup> de concreto de alta resistencia, proporcionándole rigidez a la superestructura con un periodo de vibración fundamental de 6.8 segundos (Yefi, 2011).



Figura 8: Amortiguador de Masa Sintonizada en Taipéi 101 (Amusing Planet, 2014)

## **2.6.Aspectos de las Normativas nacionales e internacionales para el análisis sismo resistente**

En el impacto sismorresistente en el mundo, se determinaron estudios para mitigar los daños de del efecto de un sismo. En tales casos, se plantearon normativas en los diferentes países ante un peligro sísmico, estas dependen de cada característica de cada zona de influencia, sin embargo, la mayoría de estas normas repercuten en similares planteamientos.

Las normativas consideran para el diseño los efectos torsionales mediante un análisis elástico aplicando la amplificación de la excentricidad yf la excentricidad accidental (Azida, 2017). Por otro lado, cuando se realiza un análisis dinámico, solo se considera la excentricidad accidental. (Crisafulli, Reboredo & Torrisi, 2004) (Azida, 2017).

Es importante resaltar que, en la práctica para considerar los efectos de torsión, los edificios generalmente se diseñan utilizando solo paredes orientadas en la misma dirección al terremoto que la estructura torsionalmente libre o una combinación de paredes con diferentes orientaciones con respecto al terremoto como torsionalmente restringido (Priestley, Calvi & Kowalsky, 2007)” (Azida, 2017). Además, la normativa peruana indica que para estructuras

irregulares se supone que la acción sísmica ocurre en la dirección que resulte más desfavorable para el diseño (E.030, 2016). Asimismo, se optará lo indicado por la norma E030(2016) que en cada dirección se debe alcanzar por lo menos el 90% de la masa total o masa participativa en los tres primeros modos de vibración.

Asimismo, conscientes del comportamiento estructural deficiente de estructuras irregulares, los códigos de construcción de países americanos situados en zonas de alta peligrosidad sísmica plantean diferentes metodologías para considerar este efecto en el diseño sismorresistente de edificaciones, ya sea a través de penalización a las estructuras irregulares o mejor aún mediante la prohibición de ciertas irregularidades (Medina, 2017).

El ASCE 7-10 establece que en el caso de tener estructuras irregularidades en planta, se realice un incremento en el 25% de las fuerzas de diseño al sistema estructural principal resistente a carga lateral (ASCE 7-10, 2010). Esto resulta igual a aplicar un factor de irregularidad equivalente a 0.8 para todos los casos. Los casos de irregularidad que el código considera son similares a los descritos por las normas analizadas. Por otro lado, la norma indica que en zonas de alto peligro sísmico la irregularidad torsional extrema es prohibida (Medina, 2017).

Dentro del análisis tiempo historia se debe considerar como variable los registros de aceleración como mínimo tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno cada uno de los cuales incluye dos componentes en direcciones ortogonales (E.030, 2016).

Para el procedimiento de análisis de la Norma Chilena se observará que “Cualquiera sea el método de análisis usado, se debe considerar un modelo de la estructura con un mínimo de tres grados de libertad por piso: dos desplazamientos horizontales y la rotación del piso en torno a la vertical. En la elección del número de grados de libertad incluidos en el análisis se debe tener en cuenta lo dispuesto en la definición de diafragmas de piso (García, 2016).

## 2.7. Conceptos preliminares para la metodología del análisis dinámico

### 2.7.1. Análisis dinámico:

#### 2.7.1.1. Análisis dinámico modal espectral

Se consideran modos de vibración cuya suma sea por lo menos el 90% de la masa total, Asimismo, se toma en cuenta por lo menos los tres primeros modos (E030, 2018).

El espectro de diseño que determina la resistencia sísmica de la estructura, según (E030, 2018) está definido por:

*Ecuación 10: Cálculo para el Espectro de Respuesta*

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$$

los espectros de diseño para las direcciones de análisis X e Y se ilustran en gráficos

De acuerdo con la norma de diseño sísmico Nch433.Of96, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, medido en el centro de masas en cada una de las direcciones de análisis, no debe ser mayor que la altura de entrepiso multiplicada por 0,002.

El cual se puede obtener mediante la expresión (Aliante, 2009)

*Ecuación 11: Derivas de la norma Nch 433 Of96*

$$\frac{\text{Desplazamiento del C.M.}}{\text{altura entre pisos}} \leq 0,002$$

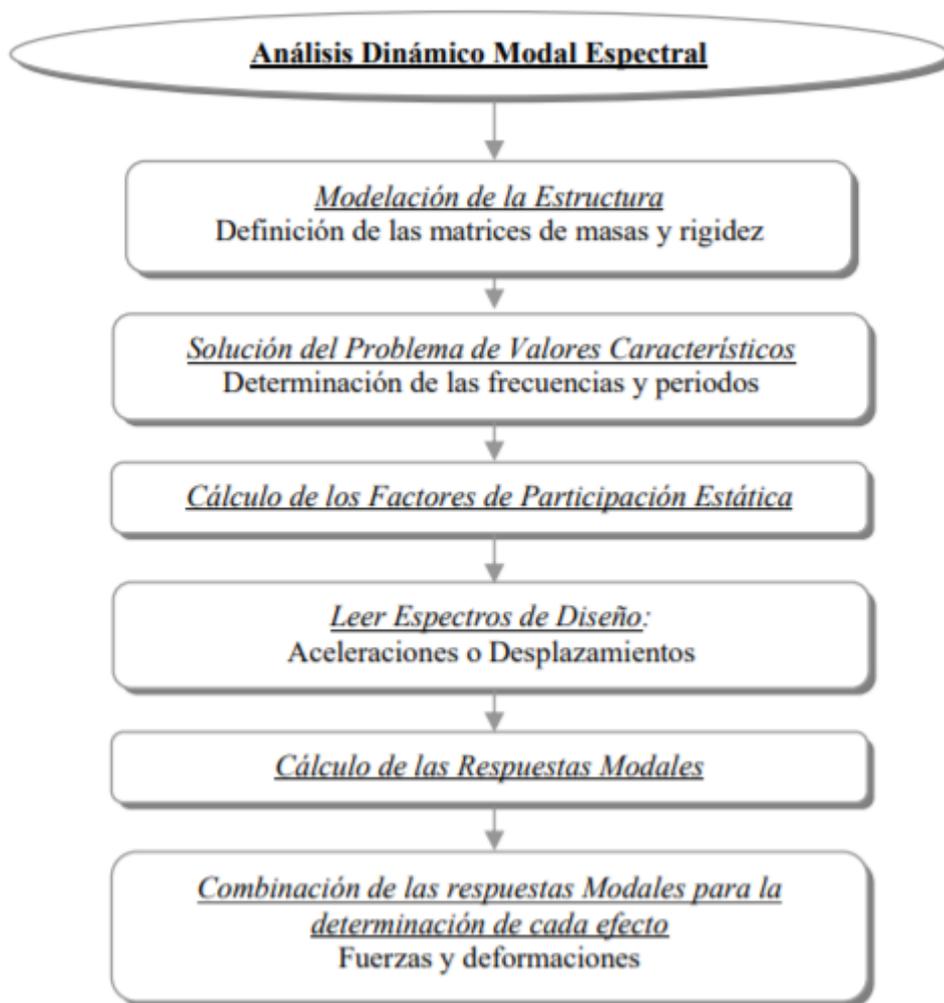


Figura 9: Flujo de desarrollo de un análisis Dinámico modal espectral

#### 2.7.1.1.1. Procedimiento de análisis

Se procede a utilizar los valores de Zona de acuerdo con la ubicación de lugar de investigación,



Figura 10: Zonas Sísmicas de Perú (Norma E030, 2018)

Cada Estructura debe ser clasificada de acuerdo con el Uso u Ocupación que esta desempeñe, este factor estará representado para la Norma Peruana como “U”. Asimismo, el periodo fundamental de vibración, considerando coeficientes que dependen del sistema estructural que se va a utilizar como la rigidez de la estructura y la masa.

Determinar la rigidez de la estructura de planta de carácter irregular y verificar esta irregularidad de planta. Asimismo, Factor de amplificación sísmica “c”, factor de reducción R.

#### 2.7.1.2. Análisis tiempo historia

Este tipo de análisis tiene como objetivo reproducir la respuesta real de la estructura debido a excitaciones dinámicas de distinto origen. En este caso dicha excitación son los sismos. De tal modo, la respuesta obtenida es utilizada para determinar los parámetros de interés para el diseño (esfuerzo y deformaciones). Dentro de lo que compete este estudio es obtener esos valores mediante el análisis e interpretarlo para así obtener una óptima ubicación. En la figura 11 se observa la aplicación del análisis en una estructura de 3 niveles (Oyarzo, 2009) .

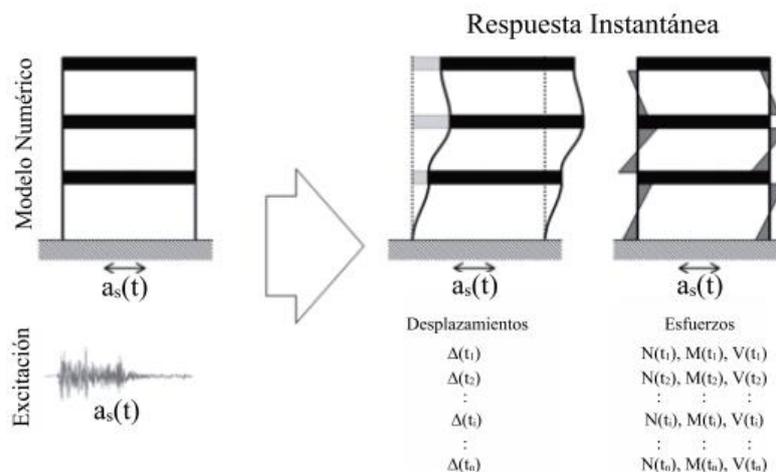


Figura 11 Representación esquemática del análisis tiempo historia

## Registros sísmicos

La normativa peruana indica que para el análisis se usan como mínimo tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno con sus dos componentes en direcciones ortogonales (E030, 2018).

Para seleccionar los registros sísmicos se tuvieron en consideración los parámetros relacionados a las características de los terremotos (magnitud, distancia a la fuente, profundidad de la fuente, mecanismos de falla y tipo de suelo) influyen significativamente en la respuesta estructural (Oyarzo, 2009). Asimismo, se tuvo cuidado en escoger el espectro de aceleraciones que se asemeje al espectro definido por la norma para la zona y suelo, y cuestión. Aquello debido a que el espectro depende del tipo de suelo (Oyarzo, 2009)

Posterior a la selección, se realizó el tratamiento de los registros para obtener respuestas lo más exactas posibles. Cada data obtenida de la red de acelerógrafos del CISMID/FIC/UNI se descargaron en formato original propio del acelerógrafo y presenta una serie de errores que deberán ser corregidos para que dicho acelerógrafo sea apto para ser utilizados (Carreño, 1999).

Dentro de las correcciones sobre los acelerógrafos están las instrumentales y la de línea base. Esta última ocurre cuando los valores son desplazados respecto a la línea cero de la aceleración. Esto es probablemente debido a que el aparato no estuvo correctamente nivelado durante su emplazamiento. Aunque este error es inapreciable en valores de aceleración, puede ser muy trascendente cuando se obtiene la velocidad y el desplazamiento por integración (Carreño, 1999).

A partir de las correcciones mencionadas, se procede a considerar los filtros por ruido. Estos pueden ser causados por fenómenos naturales o por el tratamiento de los datos. Para ser más específicos, podremos considerar que el acelerograma es la suma de la señal sísmica más el ruido (Carreño, 1999). Dicho procedimiento como el de corrección de línea base en esta investigación fue ejecutada con ayuda del programa SeismoSignal.

$$a(t) = s(t) + r(t)$$

siendo  $a(t)$  el acelerograma sin corregir,  $s(t)$  la señal sísmica y  $r(t)$  el ruido.

Lo que el programa realiza internamente es multiplicar el espectro del acelerograma por una función que reduzca el valor de la amplitud del espectro de Fourier fuera de la banda donde están contenidas las frecuencias importantes de las señales seleccionadas (Carreño, 1999). En concreto, lo que aplica el software son filtros de aproximación de filtros ideales debido que estos no se pueden usar, ya que su función de transferencia en el tiempo es infinita. La aproximación empleada es el “Butterworth frecuencial” (Carreño, 1999).

Dicho lo anterior, se continua con el escalamiento de los registros para cada par de componente horizontal de movimiento del suelo. Es necesario para que se ajusten a la intensidad de los terremotos esperados para el emplazamiento específico del proyecto en estudio (Oyarzo, 2009).

Ambas componentes se escalan por un mismo factor de escala lineales en un rango de periodos de  $0.2 T$  Y  $1.5 T$  (siendo  $T$  el periodo fundamental) (E030, 2018). Para este proceso se hace uso del software SeismoMatch, el cual tiene el objetivo que el espectro de respuesta correspondiente al acelerograma compatibilizado sea muy parecido al espectro objetivo que se introduce como dato de entrada (Aragon, 2018)(Gallegos, 2018) Este último espectro objetivo es el espectro de diseño de la norma sin reducir ( $R = 1$ ) (E030, 2018)

En particular, los espectros muestran el progreso de los movimientos del suelo a partir de las amplitudes del movimiento del suelo y posiblemente también con el contenido de frecuencias (Tavera, 2014). Aquel corresponde a un sismo raro (periodo de retorno de 500 años), en un suelo de buena calidad y tiene una aceleración pico de  $0.40g$  Tiene una plataforma para periodos cortos de  $1.00g$  hasta los  $0.40s$  y su factor de amplificación es de  $2.5$ (Borda, 2007).

#### 2.7.1.2.1. Aceleración Máxima del Suelo (PGA)

La aceleración máxima del suelo, denominada por las siglas en inglés PGA (Peak Ground Acceleration), es el parámetro más usado debido a que representa la intensidad y la destructividad de un terremoto. Es la amplitud máxima del registro de aceleraciones del suelo y está relacionado con la fuerza de un movimiento sísmico (Jorquera, 2014)

Se entiende que el peligro puede ser constante en el tiempo, pero la exposición y la vulnerabilidad de la población están en continuo aumento (Tavera, 2014). Se presenta para el análisis sismos tres registros sísmicos localizados en Lima que considerando un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años con un tiempo de retorno de 475 años, siendo un sismo denominados según su desempeño como sismos raros (Muñoz, 2009)(Tavera, 2014)(Torrealva, 2012)

Sismo de Diseño	Aceleración asociada, para la costa del Perú (g)	Comportamiento estructural
Sismos frecuentes	0.20	Perfectamente elástico
Sismos ocasionales	0.25	Prácticamente elástico
Sismos raros	0.40	Importantes incursiones inelásticas con pérdida de resistencia y rigidez. La estructura es reparable.
Sismos muy raros	0.50	Severas incursiones inelásticas, pérdida casi total de rigidez y resistencia. No resulta práctico reparar la estructura.

Figura 12 Propuesta de SEAOC de niveles de desempeño sísmico para edificaciones comunes

Los tres registros seleccionados fueron estos:

- **PRQ (1976) Estación del Parque de la reserva**

<u>Código</u>	: PRQ (VER REGISTROS DE ESTA ESTACION)
<u>Nombre</u>	: Parque de la Reserva
	: Parque de la Reserva, Cercado de Lima, Lima
<u>Ubicación</u>	: -12.07,-77.04
<u>MSNM</u>	: 130
<u>Institución</u>	: undefined
<u>Orientación</u>	: EW NS UD
<u>Modelo</u>	: Acelerógrafo Analógico
<u>Tipo</u>	: Correcto

INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE	
DATE	: October 17, 1966
ORIGIN TIME (Local)	: 16:41:00
LATITUDE	: -10.70
LONGITUDE	: -78.70
DEPTH (km)	: 24.00
MAGNITUDE	: 8.1 Mw
INFORMATION SOURCE	: IGP

- **MOL (1974) Estación de la molina**

<u>Código</u>	: MOL (VER REGISTROS DE ESTA ESTACION)
<u>Nombre</u>	: La Molina
	: The National Agrarian University, La Molina, Lima
<u>Ubicación</u>	: -12.13,-76.98
<u>MSNM</u>	: 237
<u>Institución</u>	: undefined
<u>Orientación</u>	: EW NS UD
<u>Modelo</u>	: Acelerógrafo Analógico
<u>Tipo</u>	: Correcto

INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE	
DATE	: November 09, 1974
ORIGIN TIME (Local)	: 07:59:54
LATITUDE	: -12.52
LONGITUDE	: -77.59
DEPTH (km)	: 12.80
MAGNITUDE	: 6.0 mb
INFORMATION SOURCE	: IGP

- **Estación Jorge Alva Hurtado (LIM001) 2005**

<u>Código</u>	: LIM001 (VER REGISTROS DE ESTA ESTACION)	INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE	
<u>Nombre</u>	: Jorge Alva Hurtado	DATE	: September 25, 2005
	: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigaciones de Desastres, Rimac, Lima	ORIGIN TIME (Local)	: 20:55:41
<u>Ubicación</u>	: -12.01,-77.05	LATITUDE	: -5.80
<u>MSNM</u>	: 115	LONGITUDE	: -76.20
<u>Institución</u>	:	DEPTH (km)	: 115.00
<u>Orientación</u>	: UD NS EW	MAGNITUDE	: 7.0 ML
<u>Modelo</u>	: 130-SMA REFTEK	INFORMATION SOURCE	: IGP

## CAPITULO III: METODOLOGÍA:

### 3.1. Modelo simplificado con un Amortiguador de masa sintonizada

La representación del modelo se adecua a un sistema de varios grados de libertad, lo cual corresponde a una serie de masas interconectadas por resortes sin peso (Figura 25), este modelo se denomina un sistema de acoplamiento cercano. Estrictamente sólo es aplicable a las vibraciones laterales de un pórtico con vigas infinitamente rígidas y despreciando la deformación axial de las columnas o también a algún sistema vibratorio cuyas deformaciones sean principalmente desplazamientos laterales, diafragma rígido (Pique & Scaletti, 1991)

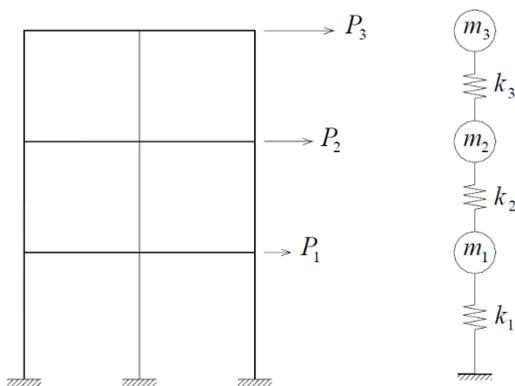


Figura 13: Sistema de acoplamiento cercano de un sistema de varios grados de libertad (Pique & Scaletti, 1991).

Para determinar el cálculo del modelo se estará usando el modelo de vibración forzada de un sistema de 2 GD, y la expresión general (Ecuación 9) de movimiento para la vibración forzada del sistema no amortiguado (Pique & Scaletti, 1991).

Ecuación 12: Ecuación matricial para un modelo de vibración forzada de varios grados de libertad

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

Donde M es la matriz diagonal con masa (Ecuación 7), K es la matriz de rigidez del sistema (Ecuación 11) que relaciona los grados de libertad dinámicos escogidos a las fuerzas correspondientes. Para el sistema de acoplamiento cercano en estudio.

*Ecuación 13: Matriz de masas*

$$M = \begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_{n-1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & m_n \end{pmatrix}$$

*Ecuación 14: Matriz de rigidez*

$$K = \begin{pmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & k_{n-1} + k_n & -k_n \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -k_n & k_n \end{pmatrix}$$

Para determinar los máximos desplazamientos mediante la aplicación de una fuerza forzada (Ecuación 12), parte del estudio del vector nulo, donde 0 representa vector de n componentes (Ecuación 13), como condiciones iniciales

*Ecuación 15: Ecuación de Fuerza estacionaria*

$$F = \begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

*Ecuación 16: Desplazamiento y velocidad inicial*

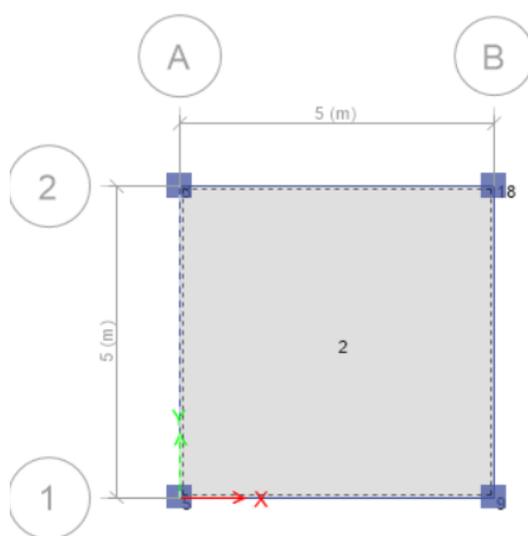
$$U(0) = U_0 \text{ y } \dot{U}(0) = \dot{U}_0$$

Con ello, los desplazamientos vibren armónicamente, variando solamente sus amplitudes, simplificando la ecuación, posterior se determina desplazamientos máximos y finalmente determinar la relación de la frecuencia con la rigidez y masa (Ecuación 14).

*Ecuación 17: Relación de frecuencia con la Rigidez y Masa*

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

Posterior se desarrolló el modelo matemático con un prototipo simplificado de una estructura de 1 y así determinar comparar los resultados del software utilizado con el modelo matemático de un grado de libertad del prototipo representativo (Figura 24). Para el análisis se utilizó un modelo sencillo de un sistema de 1 grado de libertad (1 GDL) y para el sistema acoplado con AMS, 5% del modelo simplificado, un sistema de 2 grados de libertad (2GDL).



*Figura 14: Modelo simplificado de análisis*

Se comparará los periodos de vibración del modelo simplificado calculado en EXCEL y ETABS, donde la variación para el prototipo sin AMS varía un 0.40% (Tabla 1) y para el modelo con AMS varía en 7.02%. Lo que lleva a determinar que software corrobora con los resultados que se desarrollaran posteriormente.

*Tabla 1: Comparación del periodo de vibración del modelo simplificado sin AMS*

	EXCEL	ETABS	% variación
T1	0.121 s	0.121 s	0.40%

*Tabla 2: Comparación del periodo de vibración del modelo simplificado con AMS*

	EXCEL	ETABS	% variación
T1	0.130 s	0.140 s	7.02%

### **3.2.Procedimiento de análisis de la distribución del Amortiguador de Masa**

#### **Sintonizada**

Para el desarrollo de la investigación se desarrollará el análisis dinámico modal y tiempo historia de una estructura dual que tiene una configuración irregular en forma de T (figura 25) de 5 niveles típicos. El cual, fue dividido en 5 casos donde la variación de estos es por la distribución del AMS en la última planta, y se evaluará las variables independientes de la presente investigación Tabla 1 , para determinar como varían las respuestas sísmicas en su efecto torsional ante distintas condiciones de amortiguamiento de masa sintonizada.

Tabla 3: Diseño de la investigación

Objeto de estudio	Variables independientes	Variables dependientes
Determinar cómo varían las respuestas sísmicas en su efecto torsional ante distintas condiciones de amortiguamiento de masa sintonizada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parámetros óptimos del AMS (masas, rigidez y amortiguamiento)</li> <li>• Cantidad de nivel de la edificación.</li> <li>• Métodos de análisis dinámico: Modal espectral y Tiempo historia lineal.</li> <li>• Registros sísmicos Lima</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desplazamientos Máximos</li> <li>• Periodos fundamentales de vibración</li> <li>• Masa participativa en rotación en el primer modo de vibración</li> <li>• Aceleración traslacional y rotacional</li> <li>• Variabilidad del CM y CR de la estructura total</li> <li>• Derivas inelásticas X e Y</li> </ul>

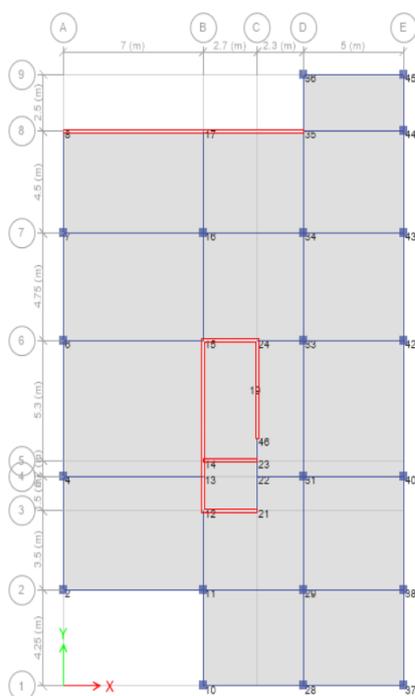


Figura 15: Planta Típica del desarrollo del proyecto (C0)

Se parte del caso 0 (Figura 15) que consiste en la estructura sin AMS para tener un patrón para la comparación de los demás casos de análisis, y para la interpretación de sus valores será representada por el color rojo (Tabla 4)

*Tabla 4: Caso 0*

CASO	MODELOS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN
CASO 0	-	C0	SIN AMS	

### 3.2.1. Desarrollo del Caso 1

El Caso 1 consiste en un AMS concentrado donde se subdividió en 7 modelos para determinar una óptima ubicación, los cuales se diferencian en la ubicación del amortiguador y en el porcentaje de masa.

En primer lugar, se encuentra el Caso 1 modelo 1 (C1 – M1), Caso 1 Modelo 2.1 (C1 – M2.1) y Caso 1 Modelo 2.2 (C1 – M2.2) que consisten en ubicar la masa concentrada en el eje centroide (Figura 16) donde difiere el porcentaje de masa en 1%, 5% y 10% respectivamente.

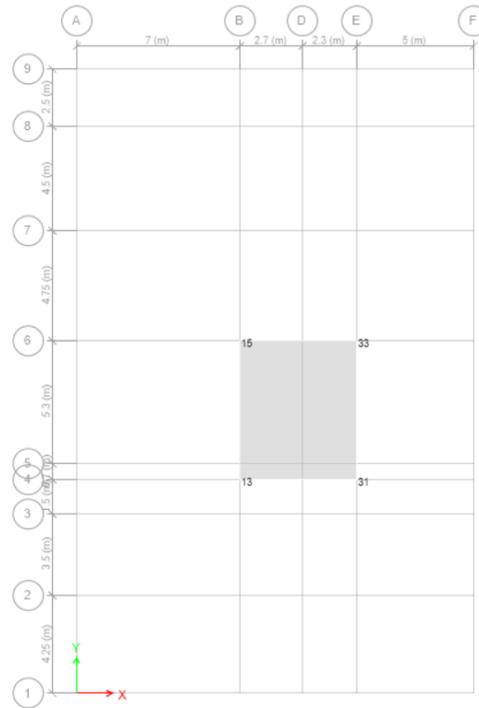


Figura 16: Ubicación del AMS en el C1-M1, C1-M2.1 y C1-M2.2

En segundo lugar, se encuentra el Caso 1 modelo 3 (C1 – M3) y Caso 1 Modelo 4 (C1 – M4) que consisten en ubicar la masa concentrada a 3 metros a la derecha del eje centroide (Figura 17) donde difiere el porcentaje de masa en 1% y 5% respectivamente.

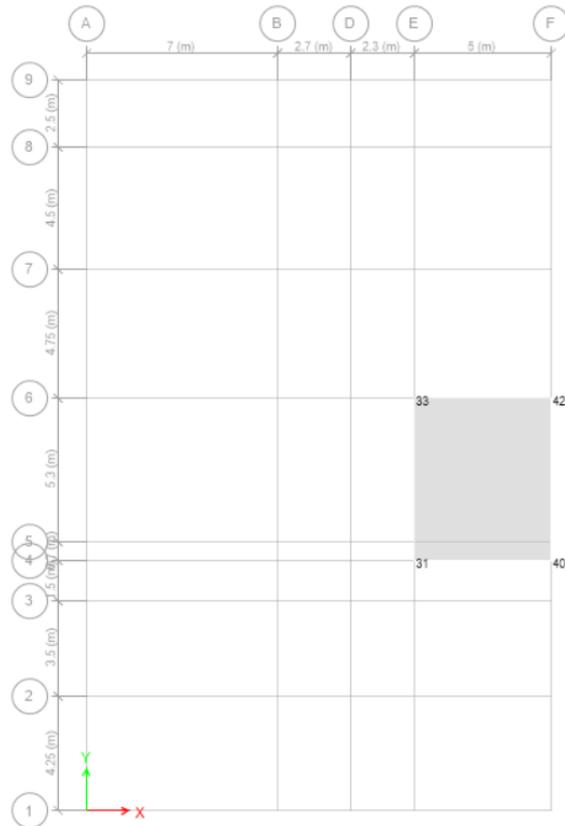


Figura 17: Ubicación del AMS en los C1-M3 y C1-M4

En último lugar, se encuentra el Caso 1 modelo 5 (C1 – M5) y Caso 1 Modelo 6 (C1 – M6) que consisten en ubicar la masa concentrada a 3 metros a la izquierda del eje centroide (Figura 18) donde difiere el porcentaje de masa en 1% y 5% respectivamente.

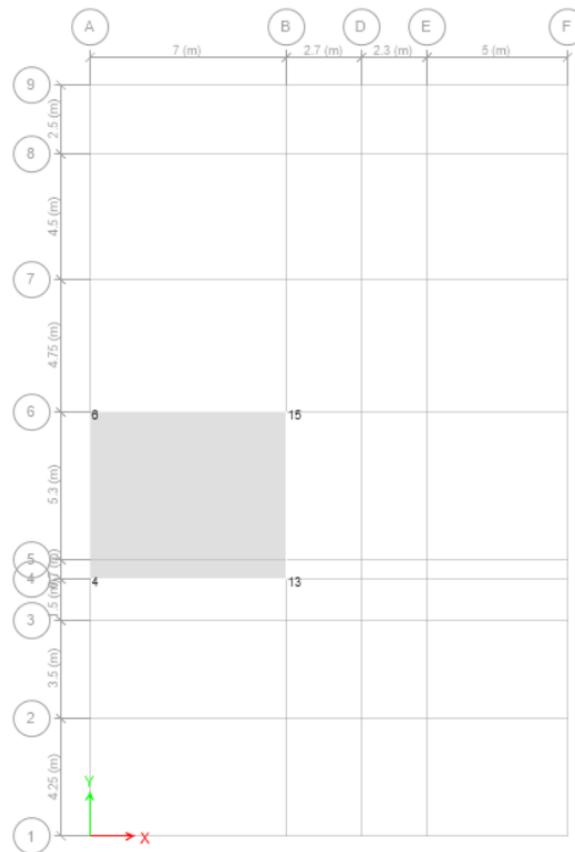


Figura 18: Ubicación del AMS en los C1-M5 y C1-M6

Para el primer caso de análisis, se evalúa las variables de análisis para comparar y determinar dónde colocar la masa concentrada, cada modelo será representada por su color característico (Tabla 5).

Tabla 5: Caso 1

CASO	MODELOS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN
CASO 1 - MASA CONCENTRADA	MODELO 1	C1 - M1	CENTRO 1%	
	MODELO 2.1	C1 - M2.1	CENTRO 5%	
	MODELO 2.2	C1 - M2.2	CENTRO 10%	
	MODELO 3	C1 - M3	DERECHA 1%	
	MODELO 4	C1 - M4	DERECHA 5%	
	MODELO 5	C1 - M5	IZQUIERDA 1%	
	MODELO 6	C1 - M6	IZQUIERDA 5%	

### 3.2.2. Desarrollo del Caso 2

El Caso 2 consiste en colocar 2 AMS subdividida en el eje X donde se analizó en 7 modelos para determinar una óptima ubicación, los cuales se diferencia en la ubicación del amortiguador y en el porcentaje de masa.

En primer lugar, se encuentra el Caso 2 modelo 1 (C2 – M1), Caso 2 Modelo 2 (C2 – M2) y Caso 2 Modelo 7 (C2 – M7) que consisten en ubicar las 2 masas en el eje centroide X (Figura 19), donde difiere el porcentaje de masa en 1%, 5% y 10% respectivamente.

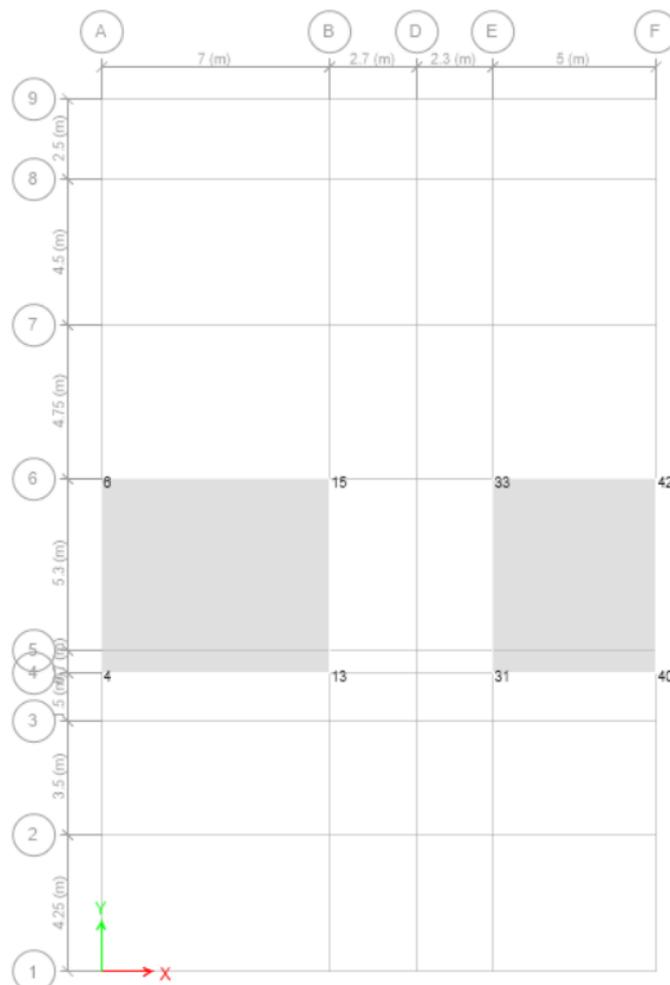


Figura 19: Ubicación del AMS en el C2-M1, C2-M2 y C2-M7

En segundo lugar, se encuentra el Caso 2 modelo 3 (C2 – M3) y Caso 2 Modelo 4 (C2 – M4) que consisten en ubicar las masas subdivididas a 7 metros arriba del eje centroide X (Figura 20) donde difiere el porcentaje de masa en 1% y 5% respectivamente.

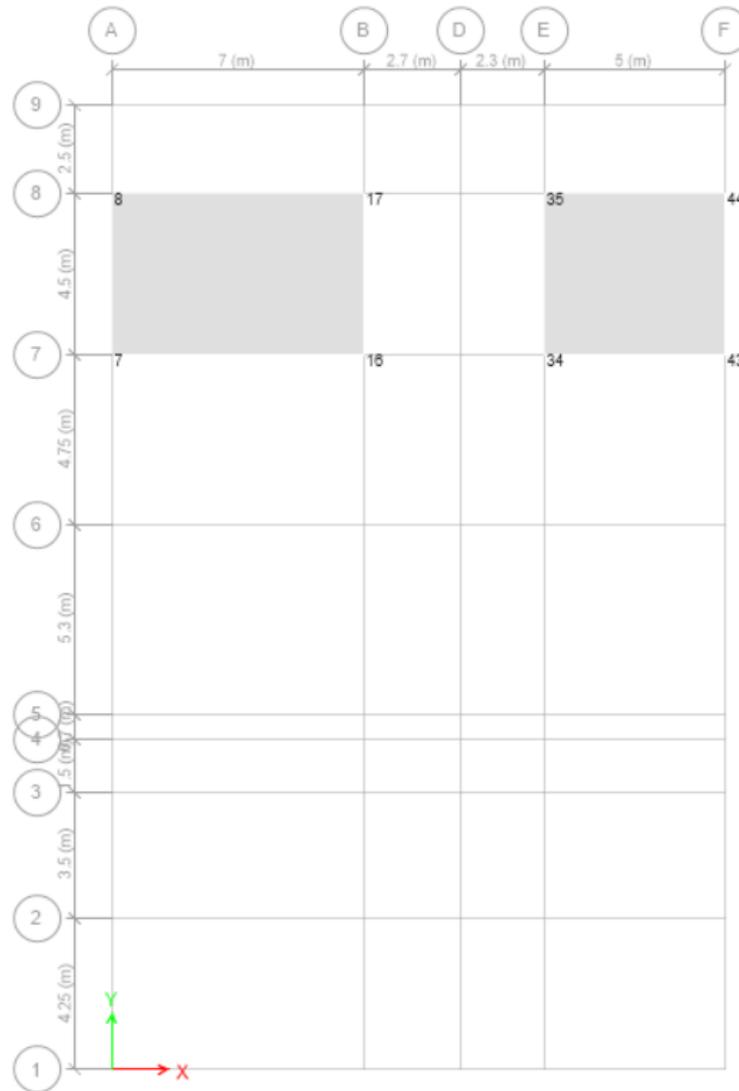


Figura 20: Ubicación del AMS en los C2-M3 y C2-M4

En último lugar, se encuentra el Caso 2 modelo 5 (C2 – M5) y Caso 2 Modelo 6 (C2 – M6) que consisten en ubicar las masas subdivididas a 6 metros abajo del eje centroide X (Figura 21) donde difiere el porcentaje de masa en 1% y 5% respectivamente.

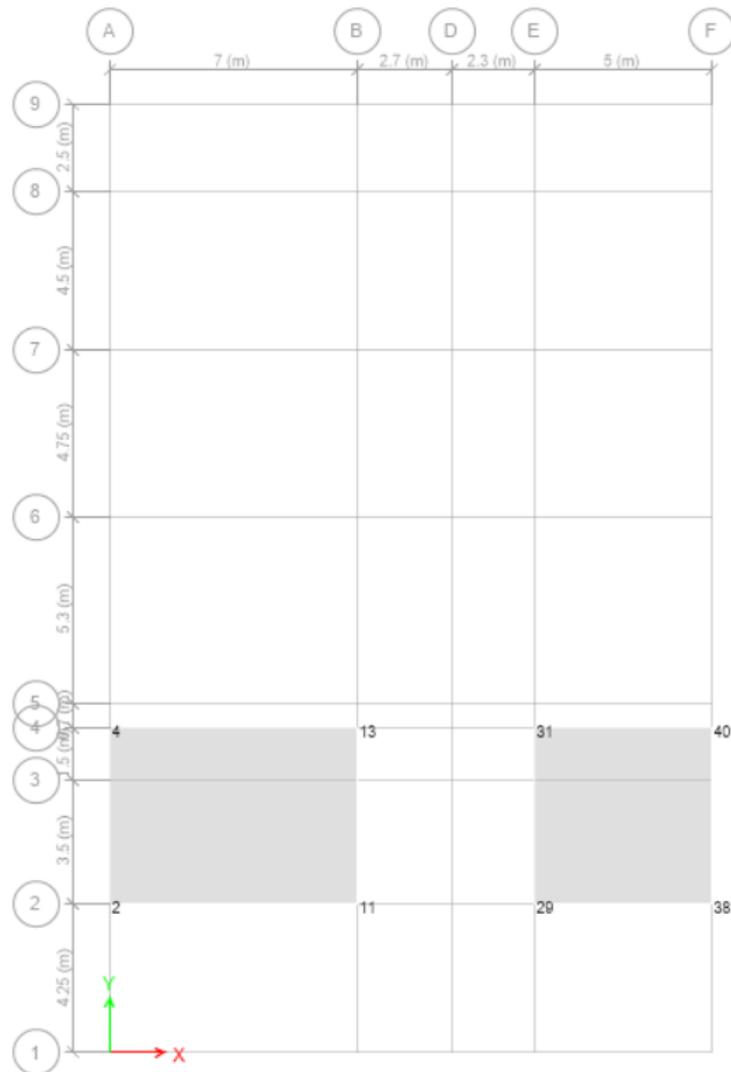


Figura 21: Ubicación del AMS en los C2-M5 y C2-M6

Para el segundo caso de análisis, se evalúa las variables de análisis para comparar y determinar dónde colocar las masas subdivididas en eje X, cada modelo será representada por su color característico (Tabla 6).

Tabla 6: Caso 2

CASO	MODELOS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN
CASO 2 - 2 MASA SUBDIVIDIDAS EN EL EJE X	MODELO 1	C2 - M1	CENTRO 1%	
	MODELO 2	C2 - M2	CENTRO 5%	
	MODELO 3	C2 - M3	ARRIBA 1%	
	MODELO 4	C2 - M4	ARRIBA 5%	
	MODELO 5	C2 - M5	ABAJO 1%	
	MODELO 6	C2 - M6	ABAJO 5%	
	MODELO 7	C2 - M7	CENTRO 10%	

### 3.2.3. Desarrollo del Caso 3

El Caso 3 consiste en colocar 2 AMS subdividida en el eje Y donde se analizó en 7 modelos para determinar una óptima ubicación, los cuales se diferencia en la ubicación del amortiguador y en el porcentaje de masa.

En primer lugar, se encuentra el Caso 3 modelo 1 (C3 – M1), Caso 3 Modelo 2 (C3 – M2) y Caso 3 Modelo 3 (C3 – M3) que consisten en ubicar las 2 masas en el eje centroide Y (Figura 22) donde difiere el porcentaje de masa en 1%, 5% y 10% respectivamente.

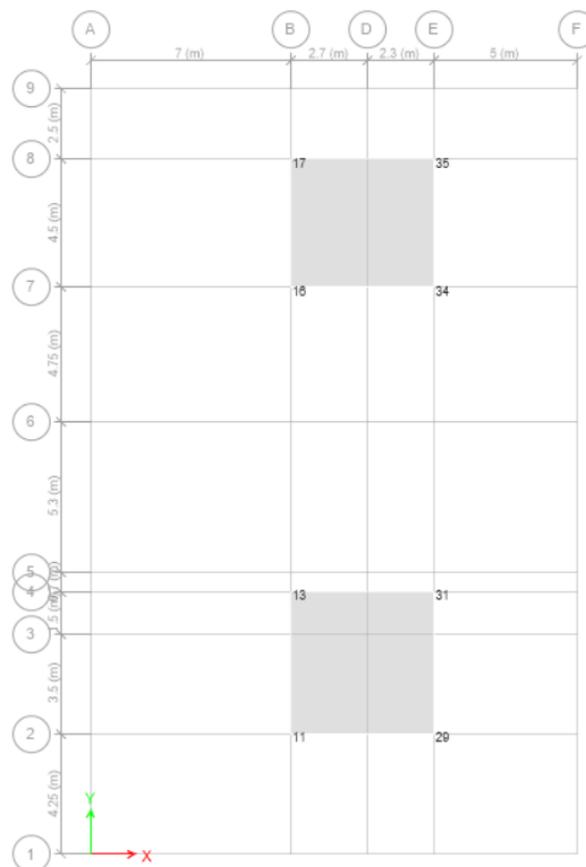


Figura 22: Ubicación del AMS en el C3-M1, C3-M2 y C3-M3

En segundo lugar, se encuentra el Caso 3 modelo 4 (C3 – M4) y Caso 3 Modelo 5 (C3 – M5) que consisten en ubicar las masas subdivididas a 5 metros arriba del eje centroide Y (Figura 23) donde difiere el porcentaje de masa en 1% y 5% respectivamente.

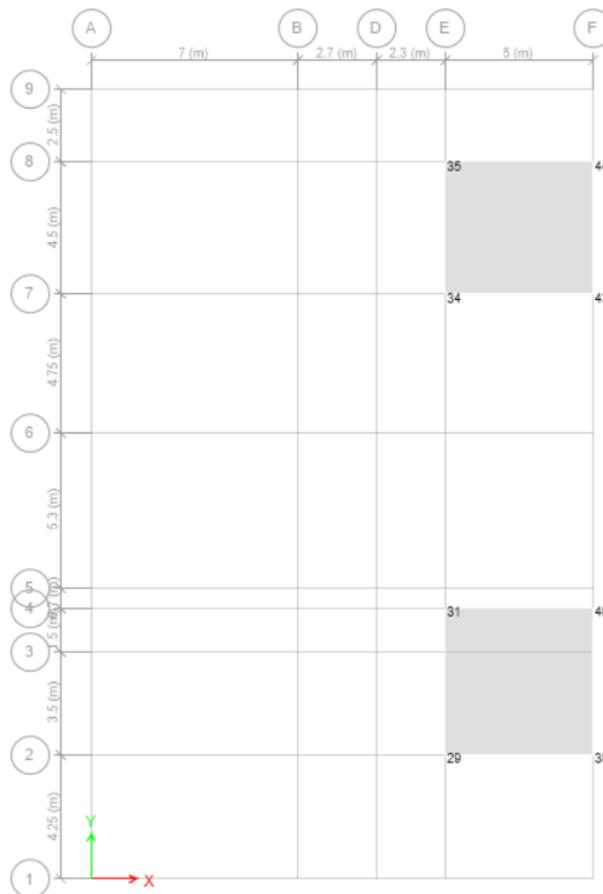


Figura 23: Ubicación del AMS en los C3-M4 y C3-M5

En último lugar, se encuentra el Caso 3 modelo 6 (C3 – M6) y Caso 3 Modelo 7 (C3 – M7) que consisten en ubicar las masas subdivididas a 7 metros abajo del eje centroide Y (Figura 24) donde difiere el porcentaje de masa en 1% y 5% respectivamente.

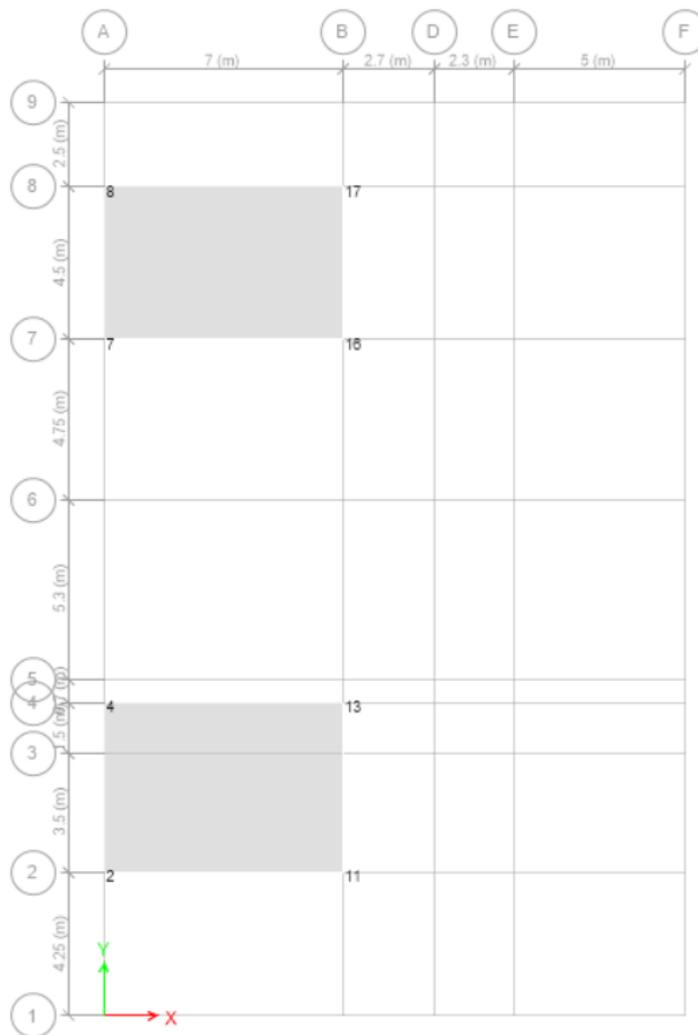


Figura 24: Ubicación del AMS en los C3-M6 y C3-M7

Para el tercer caso de análisis, se evalúa las variables de análisis para comparar y determinar dónde colocar las masas subdivididas en eje Y, cada modelo será representada por su color característico (Tabla 7).

Tabla 7: Caso 3

CASO	MODELOS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN
CASO 3 - 2 MASA SUBDIVIDIDAS EN EL EJE Y	MODELO 1	C3 - M1	CENTRO 1%	
	MODELO 2	C3 - M2	CENTRO 5%	
	MODELO 3	C3 - M3	CENTRO 10%	
	MODELO 4	C3 - M4	DERECHA 1%	
	MODELO 5	C3 - M5	DERECHA 5%	
	MODELO 6	C3 - M6	IZQUIERDA 1%	
	MODELO 7	C3 - M7	IZQUIERDA 5%	

### 3.2.4. Desarrollo del Caso 4

El Caso 4 consiste en colocar 2 AMS subdividida las esquinas, donde se analizó en 6 modelos para determinar una óptima ubicación, los cuales se diferencia en la ubicación del amortiguador y en el porcentaje de masa.

En primer lugar, se encuentra el Caso 4 modelo 1 (C4 – M1), Caso 4 Modelo 2 (C4 – M2) y Caso 4 Modelo 3 (C4 – M3) que consisten en ubicar las 2 en las esquinas superior izquierda y en la inferior derecha (Figura 25) donde difiere el porcentaje de masa en 1%, 5% y 10% respectivamente.

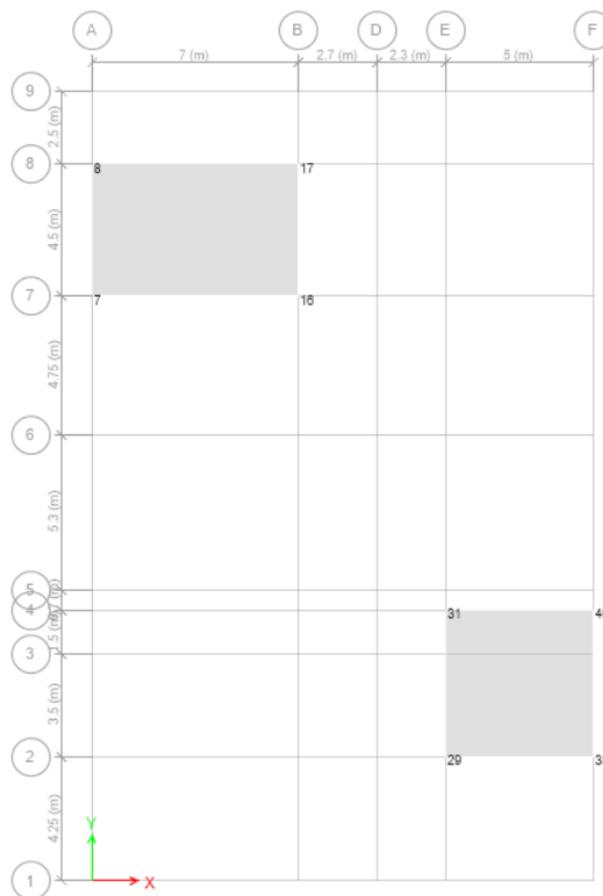


Figura 25: Ubicación del AMS en el C4-M1, C4-M2 y C4-M3

En segundo lugar, se encuentra el Caso 4 modelo 4 (C4 – M4), Caso 4 Modelo 5 (C4 – M5) y Caso 4 Modelo 6 (C4 – M6) que consisten en ubicar las masas subdivididas en las esquinas superior derecha e inferior izquierda (Figura 26) donde difiere el porcentaje de masa en 1%, 5% y 10% respectivamente.

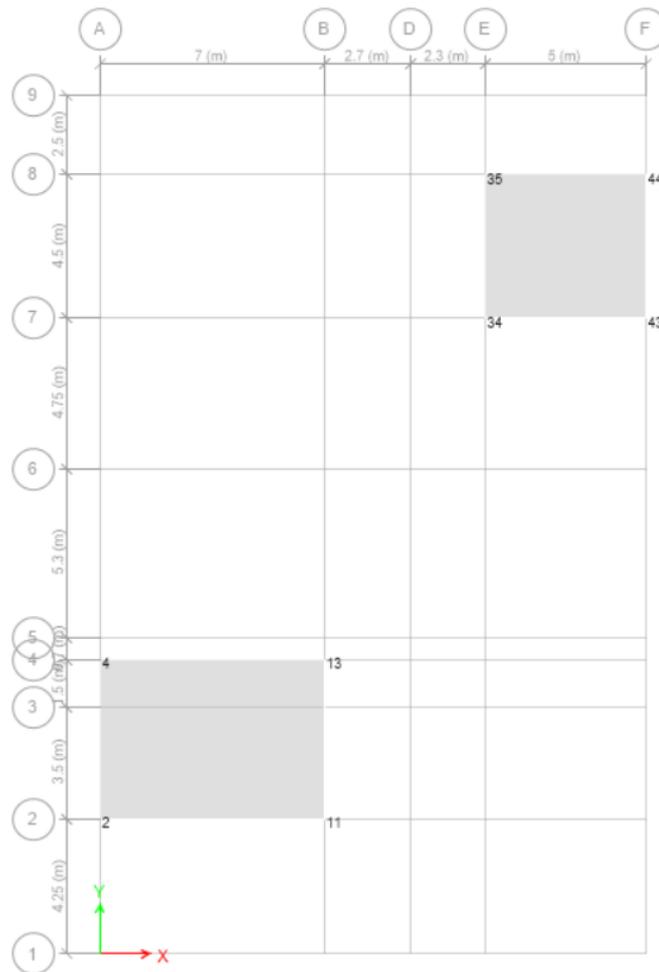


Figura 26: Ubicación del AMS en los C4-M4, C4-M5 y C4-M6

Para el tercer caso de análisis, se evalúa las variables de análisis para comparar y determinar si reduce las respuestas al colocar las masas en las esquinas de la estructura, cada modelo será representada por su color característico (Tabla 8).

Tabla 8: Caso 4

CASO	MODELOS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN
			DISTRIBUCIÓN 1 -	
	MODELO 1	C4 - M1	1%	

CASO 4 - 2 MASA SUBDVIDIDAS EN LAS ESQUINAS	MODELO 2	C4 - M2	DISTRIBUCIÓN 1 - 5%	
	MODELO 3	C4 - M3	DISTRIBUCIÓN 1 - 10%	
	MODELO 4	C4 - M4	DISTRIBUCIÓN 2 - 1%	
	MODELO 5	C4 - M5	DISTRIBUCIÓN 2 - 5%	
	MODELO 6	C4 - M6	DISTRIBUCIÓN 2 - 10%	

### 3.2.5. Desarrollo del Caso 5

El Caso 5 consiste en colocar 4 AMS subdividida en la última planta, donde se analizó en 6 modelos para determinar una óptima ubicación, los cuales se diferencia en la ubicación del amortiguador y en el porcentaje de masa.

En primer lugar, se encuentra el Caso 5 modelo 1 (C5 – M1), Caso 5 Modelo 2 (C5 – M3) y Caso 5 Modelo 3 (C4 – M3) que consisten en ubicar las 4 masas en los ejes centroides a 5 metros (Figura 27) donde difiere el porcentaje de masa en 1%, 5% y 10% respectivamente.

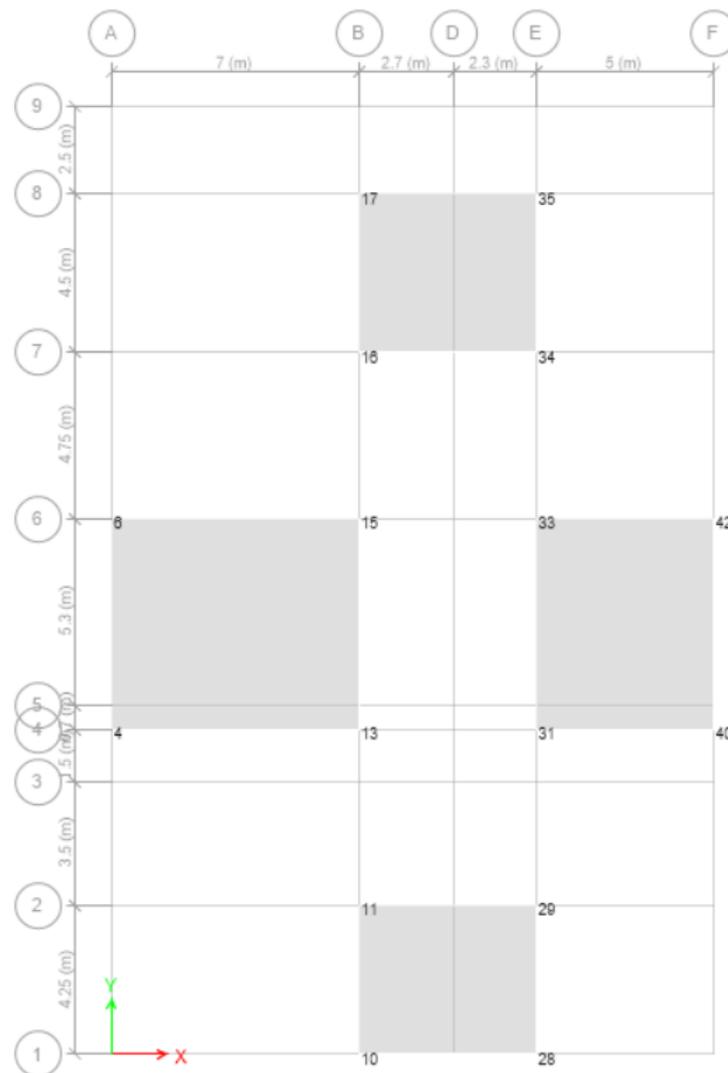


Figura 27: Ubicación del AMS en el C5-M1, C5-M2 y C5-M3

En segundo lugar, se encuentra el Caso 5 modelo 4 (C5 – M4), Caso 5 Modelo 5 (C5 – M5) y Caso 5 Modelo 6 (C5 – M6) que consisten en ubicar las 4 masas subdivididas en las esquinas superior (Figura 28) donde difiere el porcentaje de masa en 1%, 5% y 10% respectivamente.

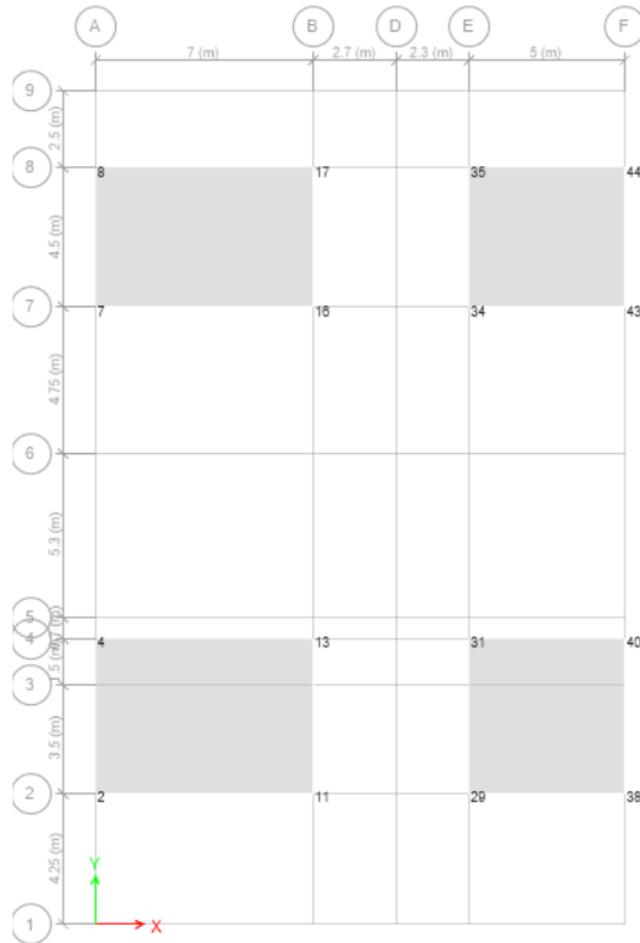


Figura 28: Ubicación del AMS en los C5-M4, C5-M5 y C5-M6

Para el tercer caso de análisis, se evalúa las variables de análisis para comparar y determinar si reduce las respuestas al colocar 4 masas, cada modelo será representada por su color característico (Tabla 9).

Tabla 9: Caso 4

CASO	MODELOS	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	REPRESENTACIÓN
CASO 5 - 4 MASA SUBDIVIDIDAS	MODELO 1	C5 - M1	DISTRIBUCIÓN 1 - 1%	
	MODELO 2	C5 - M2	DISTRIBUCIÓN 1 - 5%	
	MODELO 3	C5 - M3	DISTRIBUCIÓN 1 - 10%	
	MODELO 4	C5 - M4	DISTRIBUCIÓN 2 - 1%	
	MODELO 5	C5 - M5	DISTRIBUCIÓN 2 - 5%	

### 3.3. Metodología de análisis

#### 3.3.1. Análisis Dinámico Modal

Para el desarrollo del análisis en el caso de análisis dinámico modal para los valores del análisis, se tomó en cuenta los parámetros de la norma peruana (E030, 2018). De acuerdo con esta, la edificación se encuentra en la zona 4, ya que se encuentra situada en el Santiago de Surco, Lima, es de categoría C porque es una edificación de usos común, tiene un coeficiente de reducción de la respuesta 6 porque es un sistema de concreto armado de muros estructurales, y es un tipo de suelo S1 porque está en un suelo altamente rígido. Para el coeficiente de irregular torsional se tomó en consideración 0.6, ya que la estructura es una edificación con irregularidad torsional extrema.

*Tabla 10: Datos para el espectro de pseudoaceleración de la norma sismorresistente de Perú*

Datos	
Zona	Z4
Categoría	C
Ro	6
lpx	0.6
la	1
TI	2.5
Tp	0.4
T	0.347
Z	0.45
U	1
C	2.5
S1	1
R	3.6

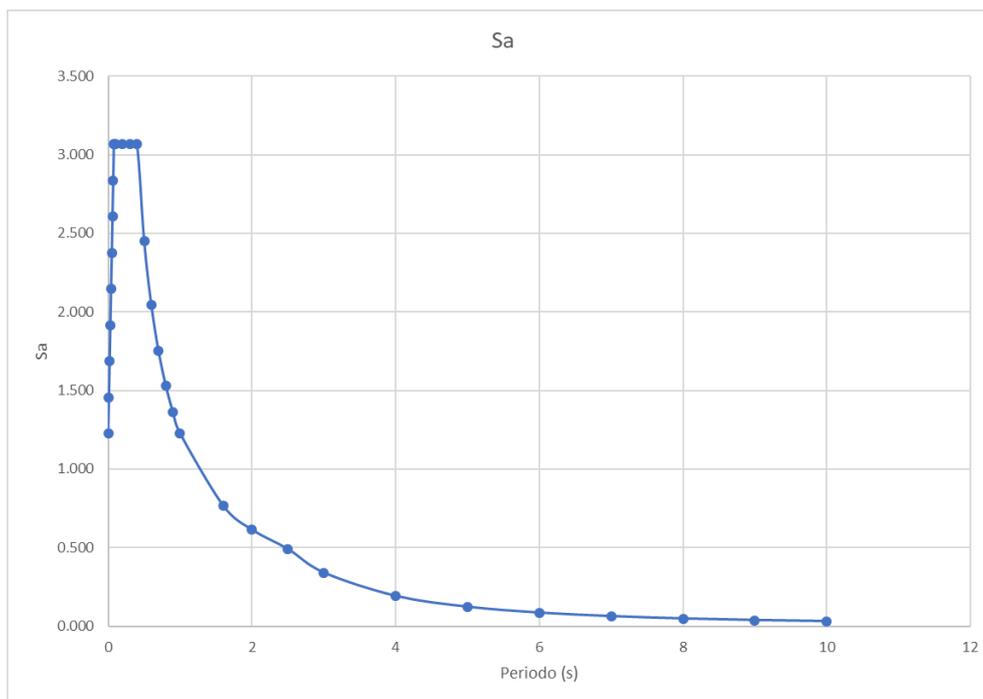


Figura 29: Espectro de pseudoaceleración propuesta.

### 3.3.2. Tiempo Historia

Como se mencionó anteriormente este tipo de análisis lineal nos permite obtener una respuesta lo más cercana a la realidad mediante la reproducción de 3 registros sísmicos. Cada registro presenta dos componentes. Cada data obtenida de la red de acelerógrafos del CISMID/FIC/UNI.

Cabe recalcar lo del capítulo 2.7.1 acerca del análisis tiempo historia, posterior a la selección se corrige por línea base y por filtros en el programa SeismoSignal mediante el filtro Butterworth frecuencial. Luego se finaliza el tratamiento del registro con el escalamiento mediante el programa SeismoMacth.

Se presentará solo el tratamiento del registro de la estación Parque de la Reserva (1966) debido a que no es el objetivo del estudio. Sin embargo, se realizó el tratamiento de registros a la estación La Molina (1974) y la estación Jorge Alva Hurtado (2005).

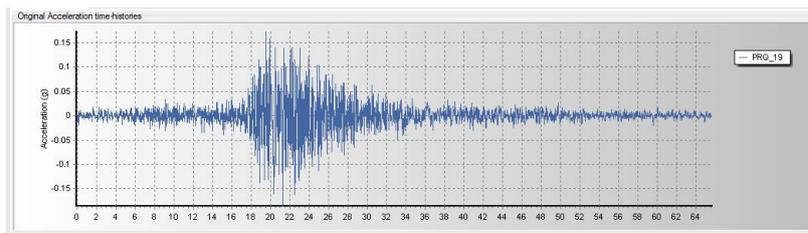


Figura 30 Componente horizontal este -oeste (ew) de la estación PRQ (1966) sin escalar

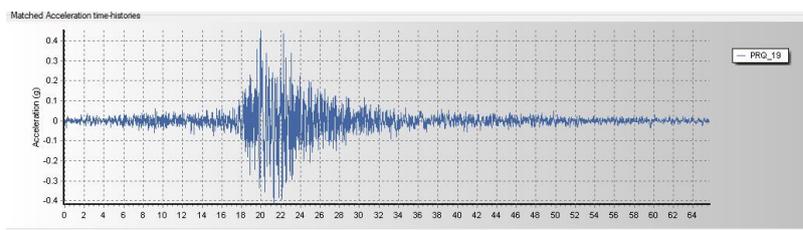


Figura 31 : Componente horizontal este -oeste (ew) de la estación PRQ (1966) escalada con el SeismoMatch

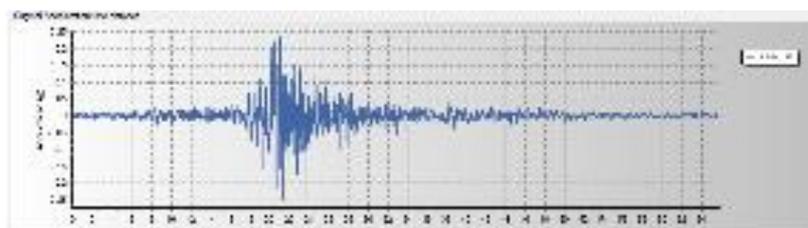


Figura 32: Componente horizontal Norte -Sur (NS) de la estación PRQ (1966) sin escalar

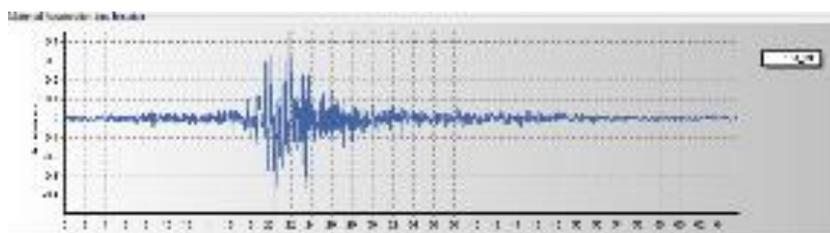


Figura 33 : Componente horizontal Norte -Sur (NS) de la estación PRQ (1966) escalada con el SeismoMatch

Según el capítulo 2.7.1, cada componente de la estructura es escalada con objetivo que se compatibilice al espectro de diseño de la norma con un  $R=1$  en un rango de periodo de  $0.2T$  a  $1.5T$ .

Se presenta el espectro objetivo para el escalamiento de los registros

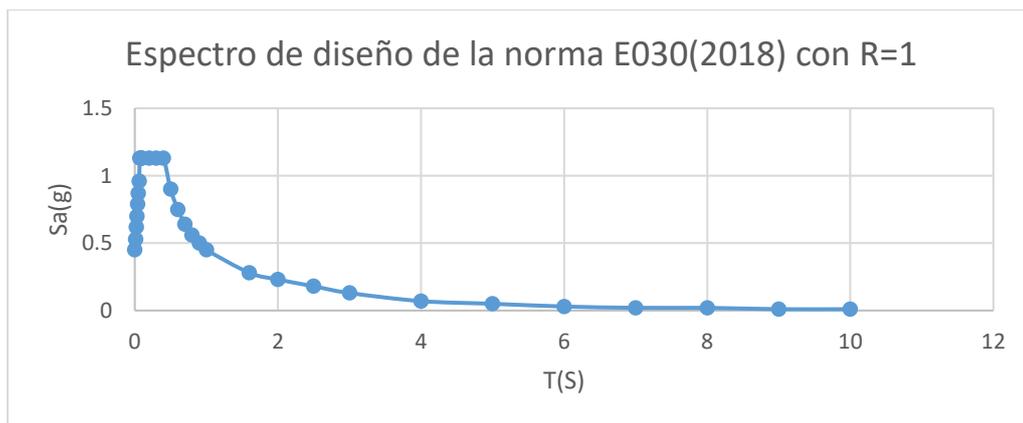


Figura 34 Espectro de diseño de la norma E030(2018) Con factor de reducción R=1

Se obtuvo como resultado que convergían todos los registros con el espectro de diseño

Accelerogram	Matching	Ave Misfit	Max Misfit	Iterations
PRQ EW.txt	Converged	8.1 %	26.6 %	5
PRQ NS.txt	Converged	7.9 %	23.9 %	16
MOL EW.txt	Converged	3.6 %	27.6 %	41
MOL NS.txt	Converged	5.1 %	29.1 %	19
LIM EW.txt	Converged	12.3 %	29.2 %	7
LIM NS.txt	Converged	12.5 %	29.8 %	8

Figura 35 Convergencia de los registros sísmicos mediante el SeismoMatch

Se presenta en la figura inferior como se compatibilizo al espectro objetivo

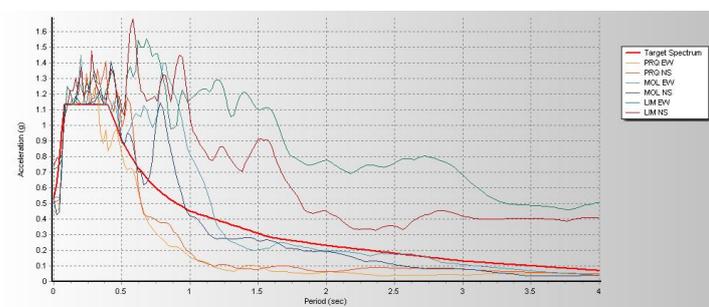


Figura 36 Compatibilización al espectro objetivo de los 3 sismos mediante el SeismoMatch

Obtenido lo anterior, se procedió a ingresar la data de los 3 sismos cada uno con sus dos componentes. Se definieron funciones para evaluar como las variables varían a cada instante.

Esto se obtuvo debido a la integración interna que realizada el ETABS. Es así como se analizó como varían las aceleraciones, desplazamientos, fuerzas cortantes en elementos como columnas y placas, etc.

## CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA IRREGULAR

### ANTE UNA RESPUESTA DINÁMICA SUJETA A UN SISMO

Para el desarrollo del capítulo, resolveremos la variación de los efectos de torsión ante una respuesta dinámica entre una estructura irregular sin AMS y con AMS en una edificación de concreto armado de 5 pisos (Figura 15), donde se distribuirá las masas de acuerdo con cada caso de análisis. Los 34 modelos se desarrollaron el software ETABS 17.0.1 para facilitar la resolución de los resultados, además presentar una pequeña variación con los datos reales (Capítulo 3.1).

#### 4.1. Análisis de la estructura irregular sin un AMS

En el desarrollo de la estructura irregular Sin AMS (C0) se desarrolló el espectro de respuesta para determinar los variables a determinar para tener los valores iniciales de análisis, ya que la estructura es una estructura que presenta irregularidad de planta torsionalmente extrema (Ecuación 2), ya que presenta un desplazamiento máximo mayor al 1.5 del promedio de los desplazamientos, lo que indica que la estructura es propensa a sufrir mayores daños en torsión ante una vibración lateral.

*Tabla 11: Comparación de los desplazamientos máximos y los desplazamientos promedios del C0*

C0		
	1.5* $\Delta$	0.5 * ( $\Delta/h$ )
$\Delta$ Max/hi	Prom/hi	permisible
0.0043911	0.00301808	0.0035

Sin embargo, la edificación no presenta desplazamientos mayores que las derivas permisibles (0.007) (Figura 30 y 31)

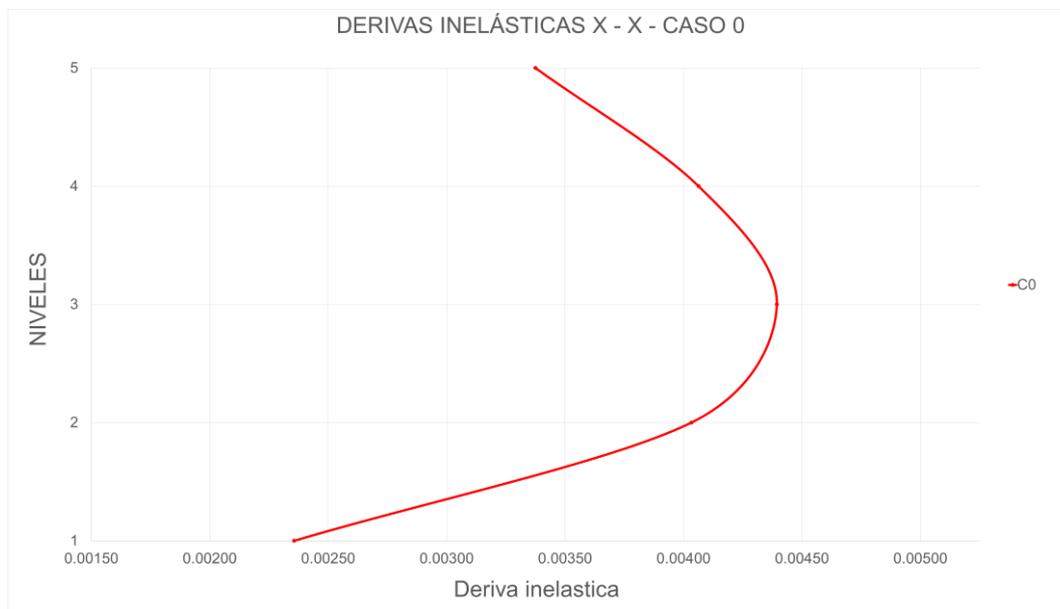


Figura 37: Derivas por piso del C0 en dirección X-X

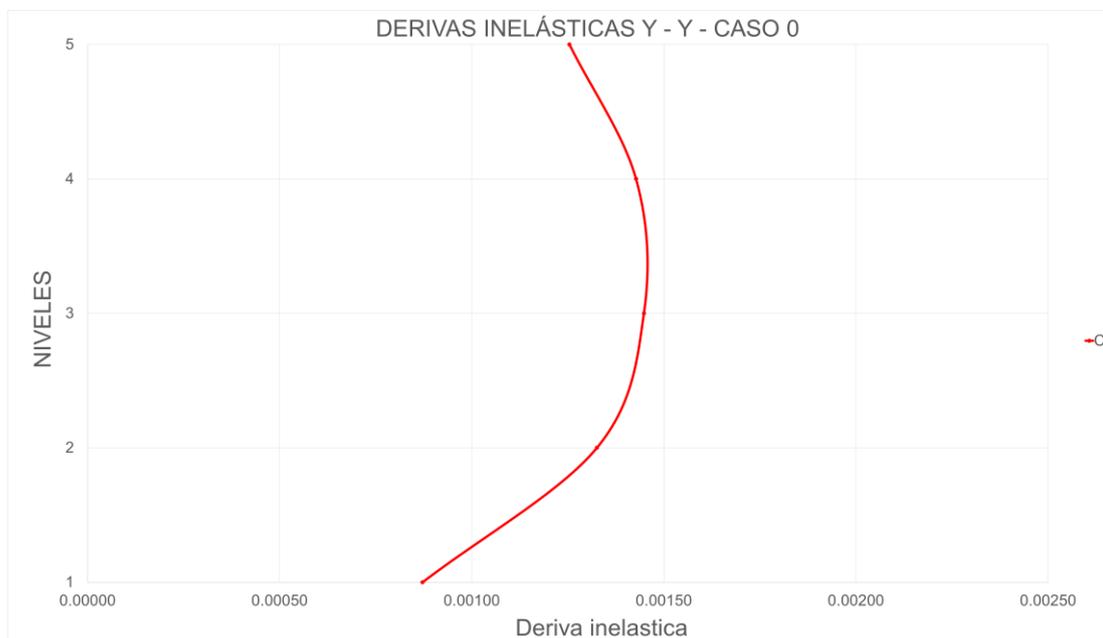


Figura 38: Derivas inelásticas por piso del C0 en dirección Y-Y

Además, presenta una longitud de excentricidad de 7.150 metros (Tabla 12), otro indicador que proporciona que la estructura tiene una falla considerable en torsión por ser una planta irregular en forma T.

*Tabla 12: Masa por piso del C0*

		C0					
Story	Diaphragm	Mass X Kg	Mass Y kg	XCCM m	YCCM m	XCR m	YCR m
Story1	D1	274529.7	274529.7	9.1991	13.4879	7.9839	19.4731
Story2	D2	274529.7	274529.7	9.1991	13.4879	7.7148	20.4452
Story3	D3	274529.7	274529.7	9.1991	13.4879	7.7081	20.7461
Story4	D4	274529.7	274529.7	9.1991	13.4879	7.7998	20.7931
Story5	D5	248559.95	248559.95	9.2257	13.2295	7.8951	20.7959
		1346678.75	SUMA	46.0221	67.1811	39.1017	102.2534

La variable predominante de la estructura, la participación de la masa en rotacional (Rz) la estructura presenta 30% de la masa en rotación lo cual indica que la estructura es altamente vulnerable ante una vibración lateral.

		C0						
Case	Mode	Period sec	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
Modal	1	0.347	0.440	0.020	0.440	0.020	0.313	0.313

## **4.2. Análisis de la estructura irregular con AMS:**

### **4.2.1. Análisis de la estructura de estudio con un AMS concentrada (Caso 1):**

Para el caso de estudio se desarrollará 7 modelos (Tabla 5) donde divergen la variación de las masas y la ubicación de la masa. Se detallará el porcentaje de la masa colocada en cada dispositivo y los coeficientes de amortiguamiento para cada modelo de análisis para cada modelo.

Además de los resultados obtenidos para cada variable desarrollada mostrando una comparación de los modelos de este caso.

*Tabla 13: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M1*

C1 - M1		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	tn
md	1372.761	kgxs2/m
K Total	450086.293	kg/m
$\xi$	20%	
C Total	9942.724	kg/m
K1	112521.573	kg/m
C1	2485.681	kg/m

*Tabla 14: Dimensiones del AMS – C1M1*

Losas de concreto		
L	5.000	m
B	6.000	m
e	18.704	cm

*Tabla 15: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M2.1*

C1 - M2.1		
5%		
Pd total	67333.938	kg
Pd total	67.334	tn
md	6863.806	kgxs2/m
K Total	2250431.464	kg/m
$\xi$	20%	
C Total	49713.620	kg/m
K1	562607.866	kg/m
C1	12428.405	kg/m

*Tabla 16: Dimensiones del AMS – C1M2.1*

Losas de concreto		
L	5.000	m
B	6.000	m
e	93.519	cm

*Tabla 17: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M2.2*

C1 - M2.2		
-----------	--	--

10%		
Pd total	134667.875	kg
Pd total	134.668	tn
md	13727.612	kgxs2/m
K Total	4500862.929	kg/m
$\xi$	20%	
C Total	99427.240	kg/m
K1	1125215.732	kg/m
C1	24856.810	kg/m

Tabla 18: Dimensiones del AMS – CIM2.2

Losas de concreto		
L	5.000	m
B	6.000	m
e	187.039	cm

Tabla 19: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M3

C1 - M3		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	tn
md	1372.761	kgxs2/m
K Total	450086.293	kg/m
$\xi$	20%	
C Total	9942.724	kg/m
K1	112521.573	kg/m
C1	2485.681	kg/m

Tabla 20: Dimensiones del AMS – CIM3

Losas de concreto		
L	5.000	m
B	6.000	m
e	18.704	cm

Tabla 21: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M4

C1 - M4		
5%		
Pd total	67333.938	kg
Pd total	67.334	tn

md	6863.806	kgxs2/m
K Total	2250431.464	kg/m
$\xi$	20%	
C Total	49713.620	kg/m
K1	562607.866	kg/m
C1	12428.405	kg/m

Tabla 22: Dimensiones del AMS – C1M4

Losas de concreto		
L	5.000	m
B	6.000	m
e	93.519	cm

Tabla 23: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M5

C1 - M5		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	tn
md	1372.761	kgxs2/m
K Total	450086.293	kg/m
$\xi$	20%	
C Total	9942.724	kg/m
K1	112521.573	kg/m
C1	2485.681	kg/m

Tabla 24: Dimensiones del AMS – C1M5

Losas de concreto		
L	7.000	m
B	6.000	m
e	13.360	cm

Tabla 25: Parámetros Óptimos del AMS – C1 – M6

C1 - M6		
5%		
Pd total	67333.938	kg
Pd total	67.334	tn
md	6863.806	kgxs2/m
K Total	2250431.464	kg/m

$\xi$	20%	
C Total	49713.620	kg/m
K1	562607.866	kg/m
C1	12428.405	kg/m

Tabla 26: Dimensiones del AMS – CIM6

Losas de concreto		
L	7.000	m
B	6.000	m
e	66.800	cm

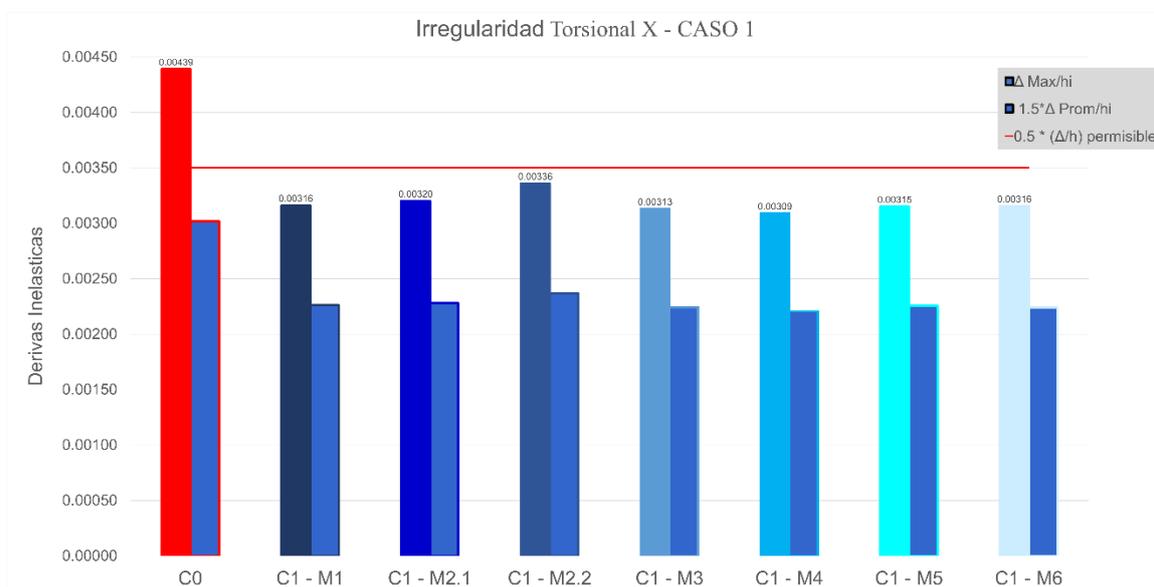


Figura 39: Irregularidad Torsional para los modelos de Caso 1

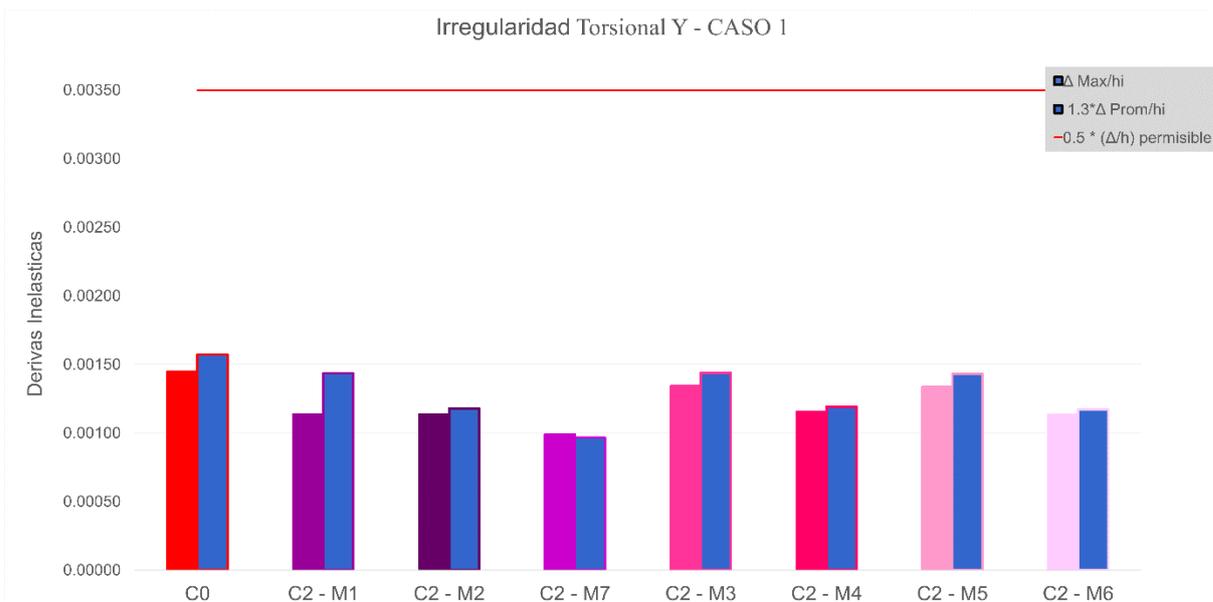


Figura 40: Irregularidad Torsional Y para modelos de caso I

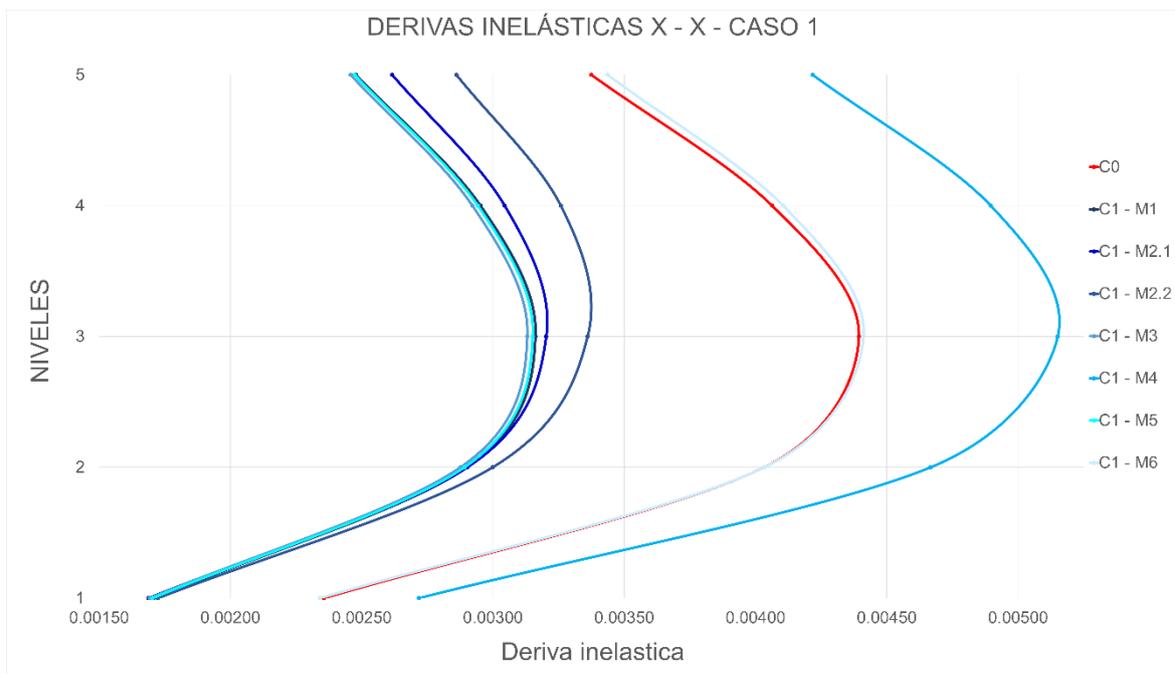


Figura 41: Derivas Inelásticas X – X de los modelos del caso I

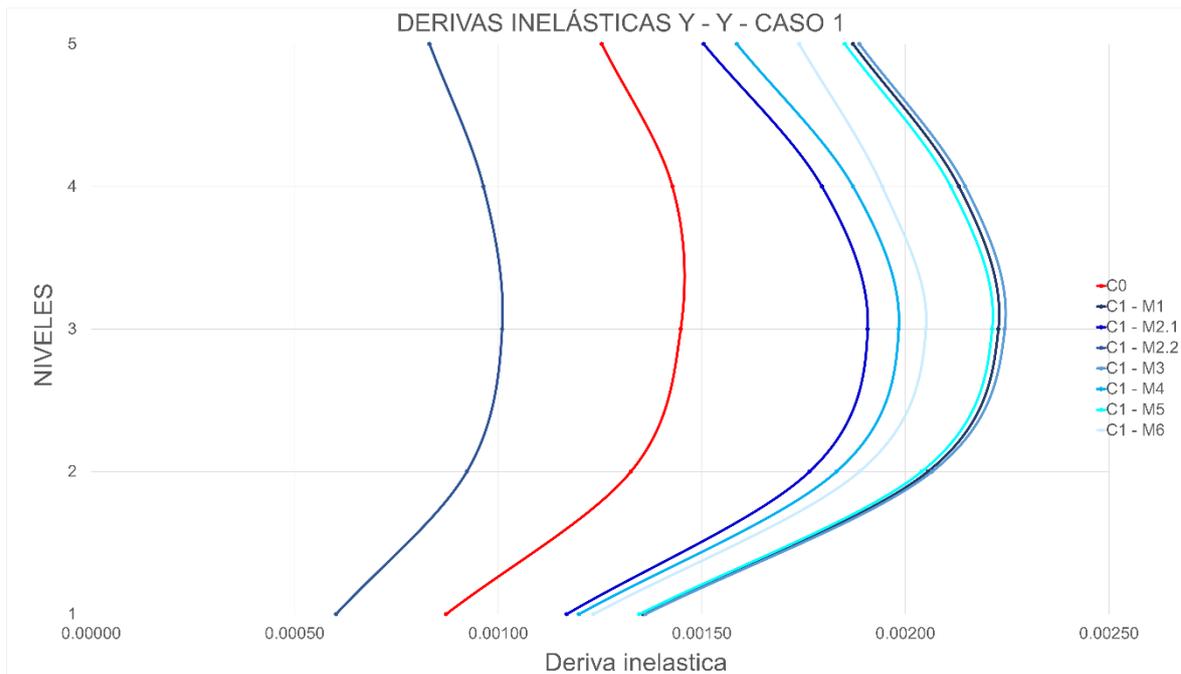


Figura 42: Derivas Inelásticas Y – Y de los modelos del caso 1

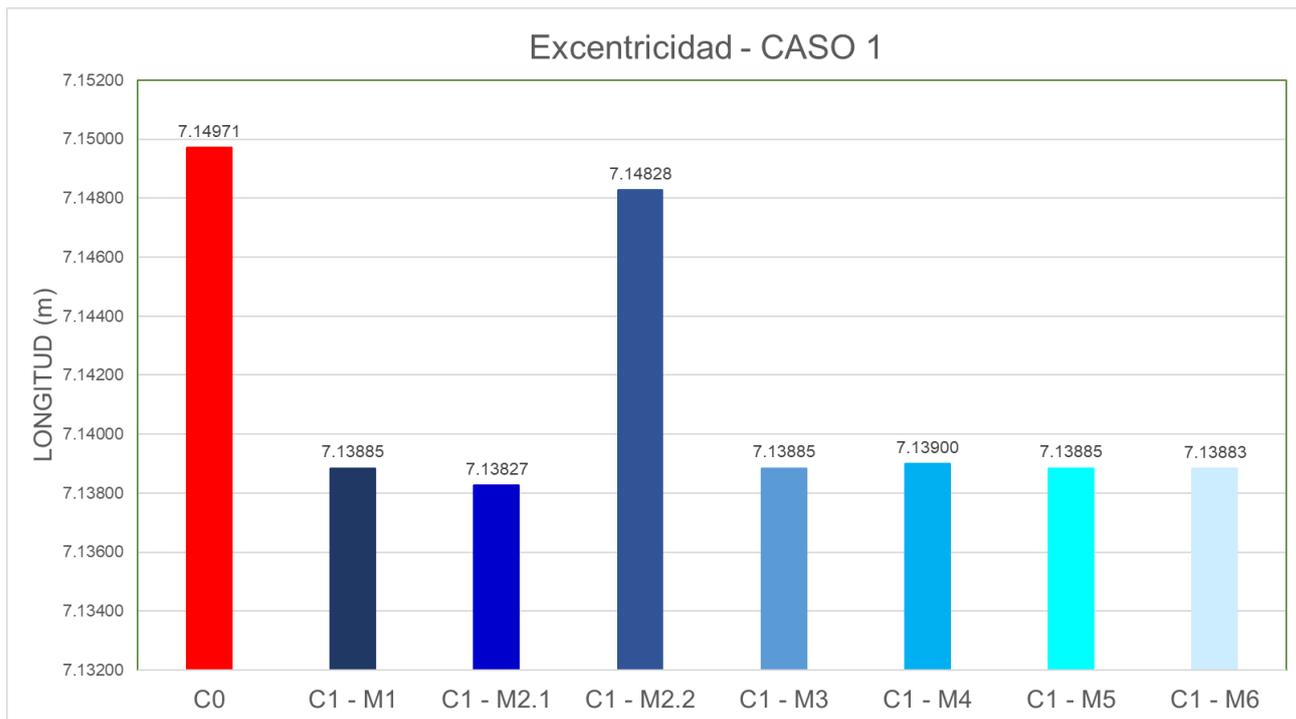


Figura 43: Excentricidad accidental de los modelos del Caso 1

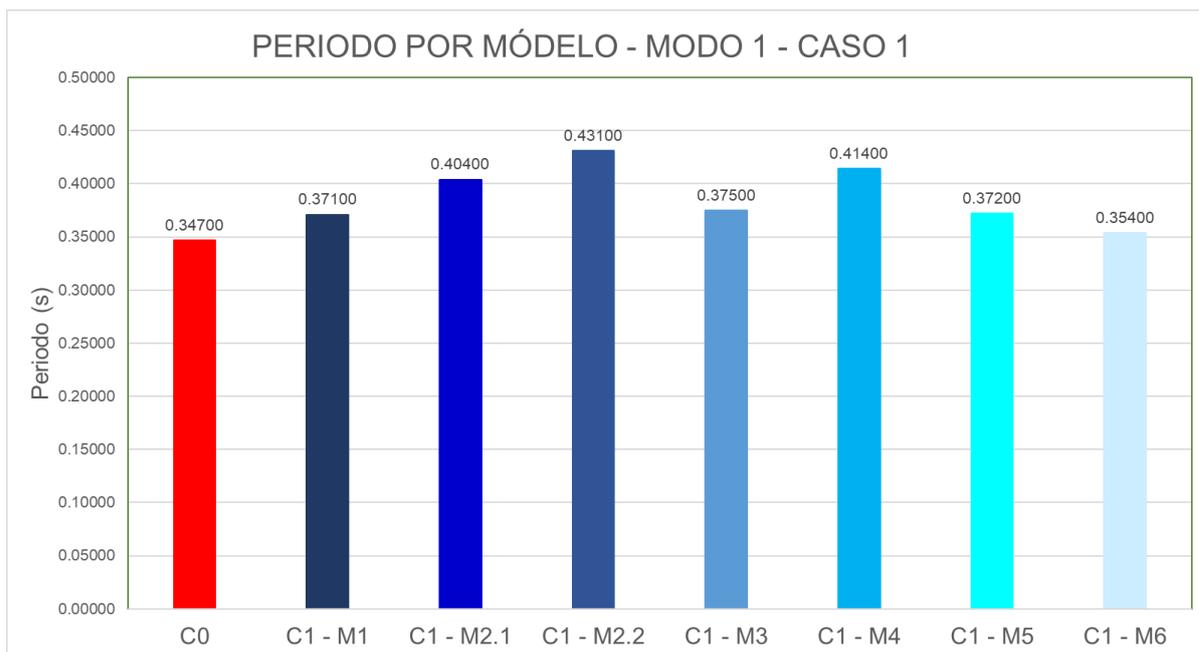


Figura 44: Periodo del primer modo de vibración de los modelos del caso 1

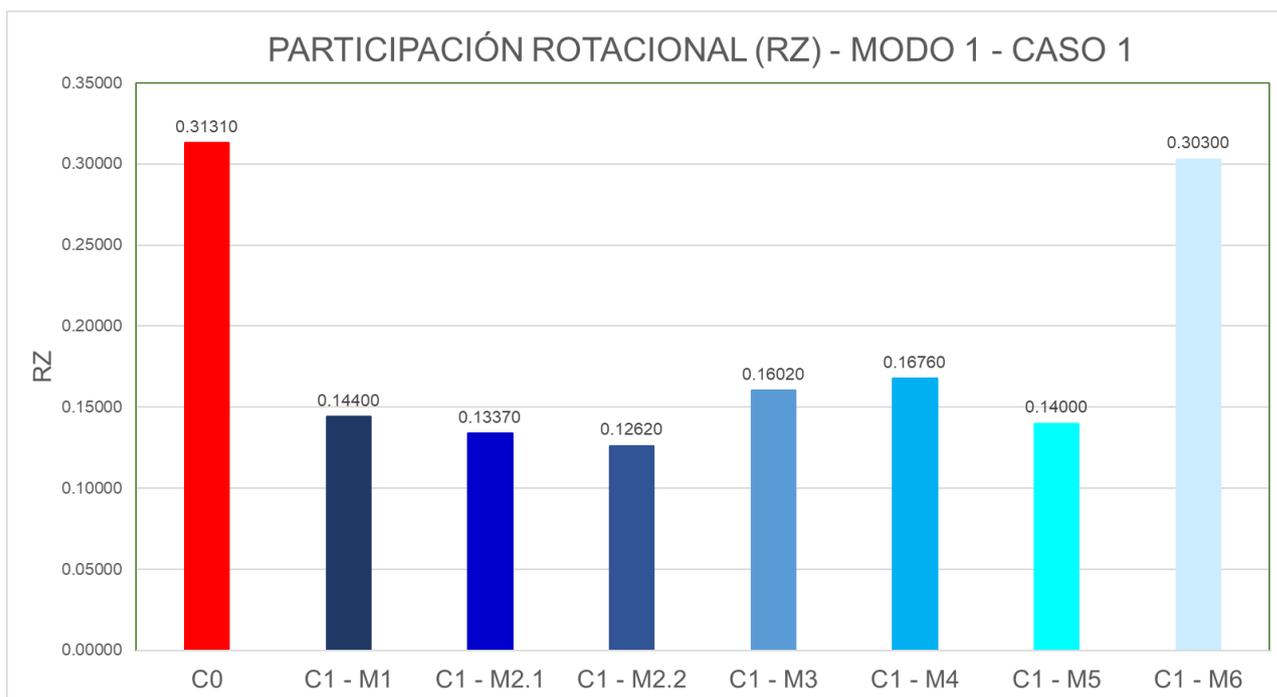


Figura 45: Participación de la masa en rotación del primer modo de vibración para los modelos del Caso 1

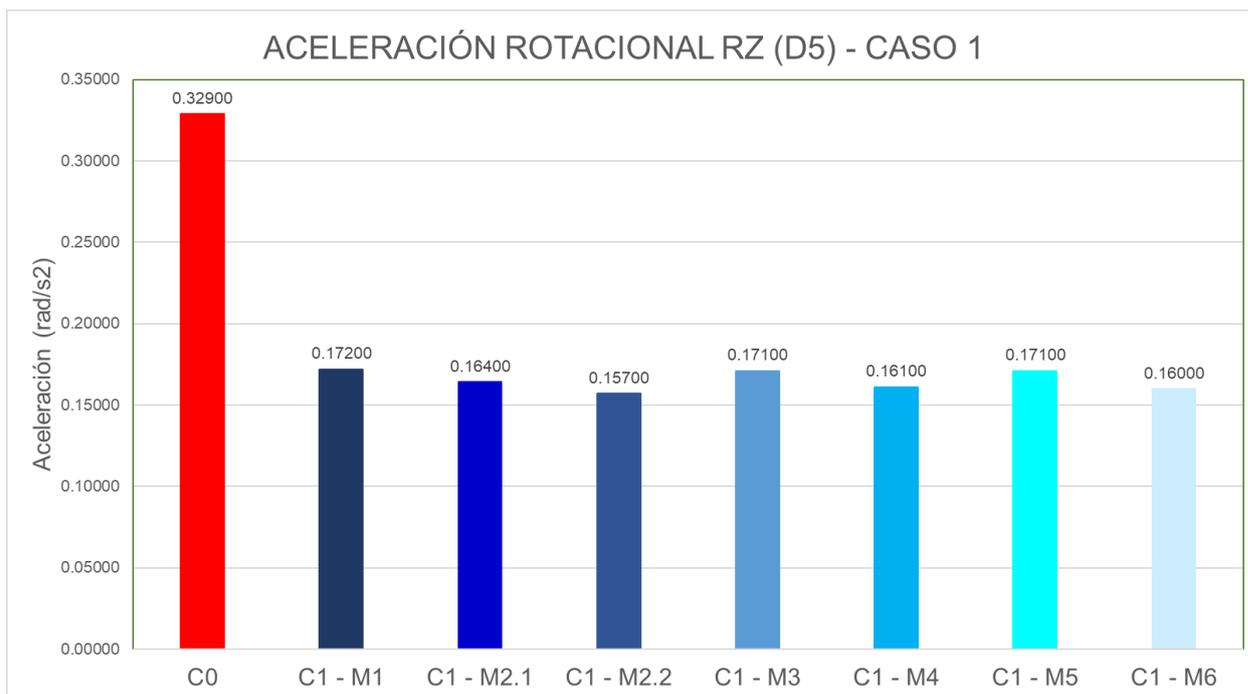


Figura 46: Aceleración rotacional Rz del diafragma del 5 nivel de los modelos de Caso 1

Con respecto al tiempo historia del modelo lineal se obtuvo para el caso 1 como varían las aceleraciones con respecto al tiempo. En las figuras continuas se observa la comparación del caso 0 con el modelo más favorable (C1M2.2) y desfavorable (C1M1) del caso 1.

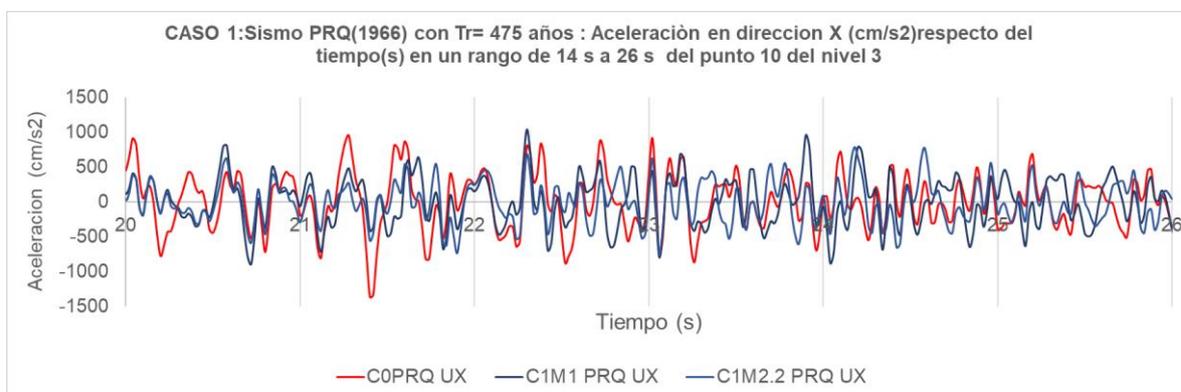


Figura 47 CASO 1: Sismo PRQ(1966) con  $T_r= 475$  años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 14 s a 26 s del punto 10 del nivel 3

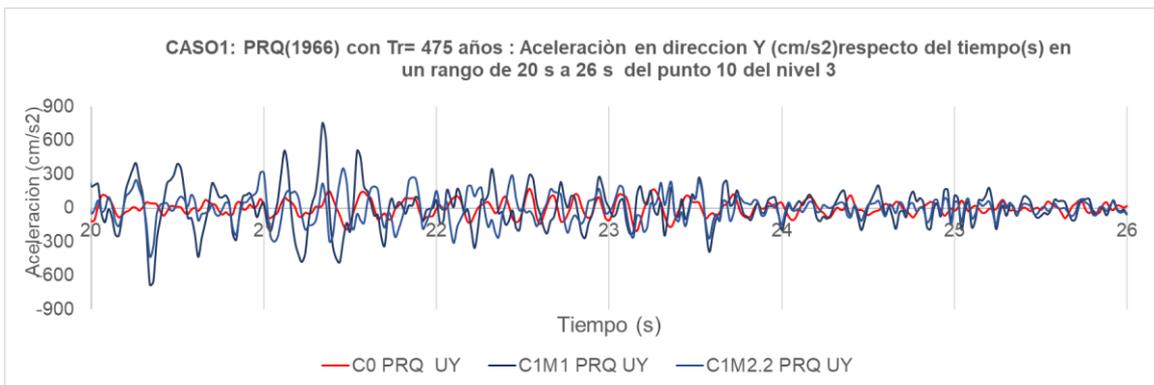


Figura 48 CASO1: PRQ(1966) con  $T_r = 475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 26 s del punto 10 del nivel 3

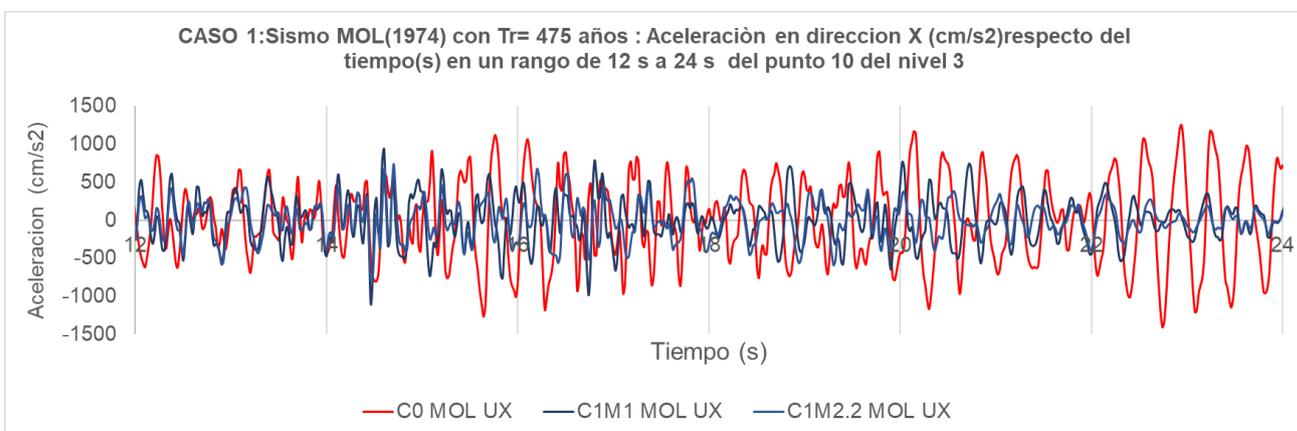


Figura 49 : CASO 1:Sismo MOL(1974) con  $T_r = 475$  años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 12 s a 24 s del punto 10 del nivel 3

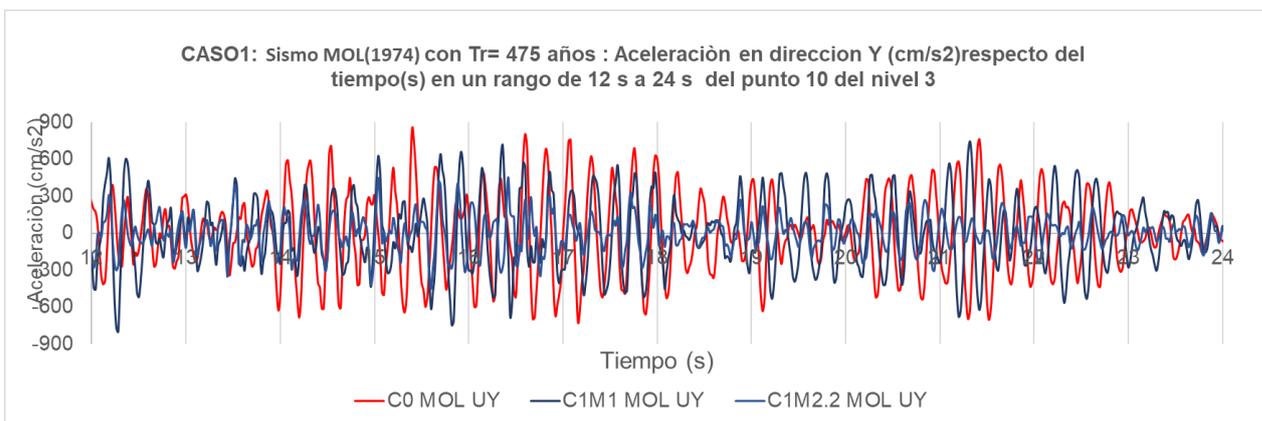


Figura 50 CASO1: Sismo MOL(1974) con  $T_r = 475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 12 s a 24 s del punto 10 del nivel 3

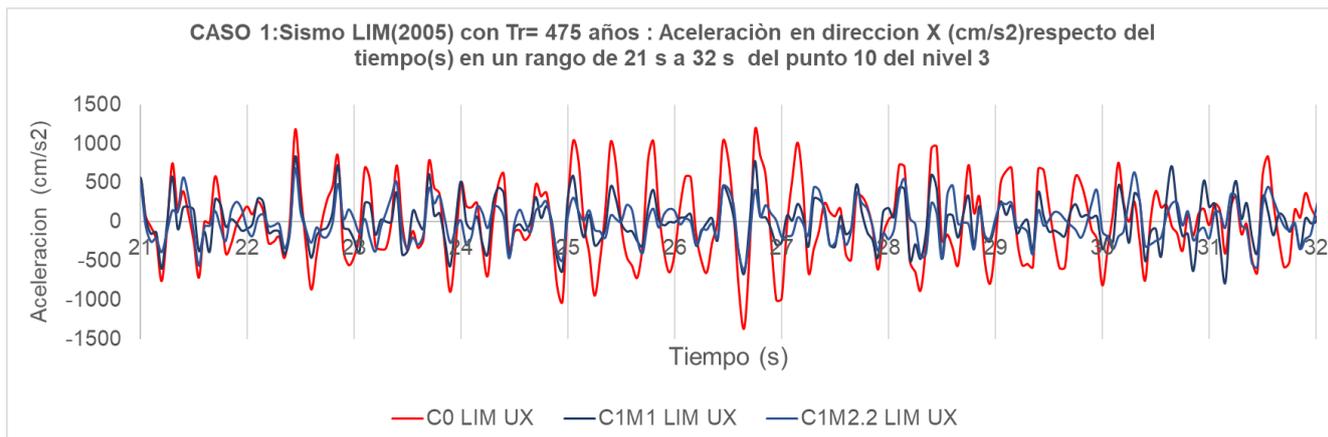


Figura 51 CASO 1:Sismo LIM(2005) con  $Tr= 475$  años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>)respecto del tiempo(s) en un rango de 21 s a 32 s del punto 10 del nivel 3

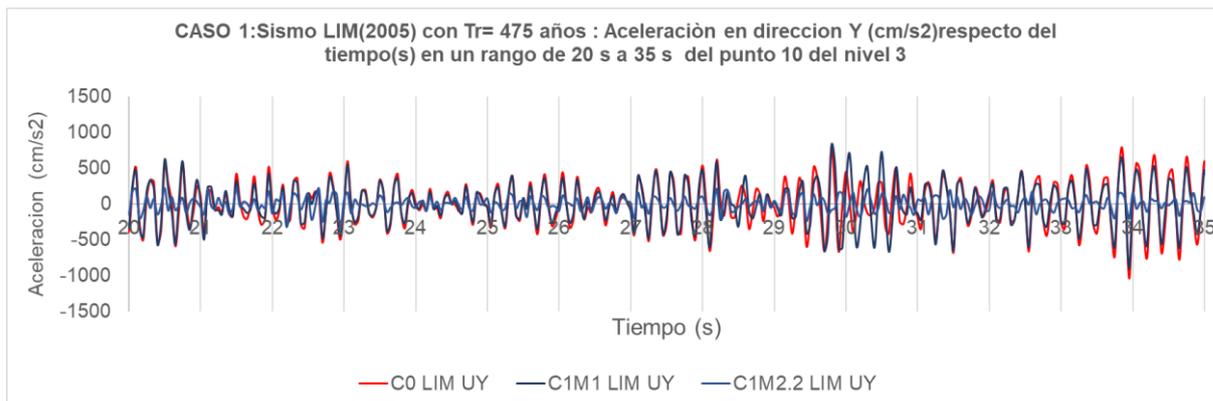


Figura 52 CASO 1:Sismo LIM(2005) con  $Tr= 475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>)respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 35 s del punto 10 del nivel 3

#### 4.2.2. Análisis de la estructura de estudio con 2 AMS distribuidos en el eje X – X (Caso 2)

Para el caso de estudio se desarrollará 7 modelos (Tabla 5) donde divergen la variación de las masas y la ubicación de la masa. Se detallará el porcentaje de la masa colocada en cada dispositivo y los coeficientes de amortiguamiento para cada modelo de análisis para cada modelo.

Además de los resultados obtenidos para cada variable desarrollada mostrando una comparación de los modelos de este caso.

Tabla 27: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M1

C2 - M1		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	Tn
IZQUIERDA		
0.58%		
Pd 1	7855.626	kg
Pd 1	7.856	Tn
md 1	800.777	kgxs2/m
K Total 1	262550.338	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	5799.922	kg/m
K1	65637.584	kg/m
C1	1449.981	kg/m
DERECHA		
0.42%		
Pd 2	5611.161	kg
Pd 2	5.611	Tn
md 2	571.984	kgxs2/m
K Total 2	187535.955	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	4142.802	kg/m
K2	46883.989	kg/m
C2	1035.700	kg/m

Tabla 28: Dimensiones del AMS – C2M1

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	6.000	m
e1	7.793	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	6.000	m
e2	7.793	cm

Tabla 29: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M2

C2 - M2		
5%		
Pd total	67333.938	kg

Pd total	67.334	Tn
IZQUIERDA		
2.92%		
Pd 1	39278.130	kg
Pd 1	39.278	Tn
md 1	4003.887	kgxs2/m
K Total 1	1312751.688	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	28999.612	kg/m
K1	328187.922	kg/m
C1	7249.903	kg/m
DERECHA		
2.08%		
Pd 2	28055.807	kg
Pd 2	28.056	Tn
md 2	2859.919	kgxs2/m
K Total 2	937679.777	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	20714.008	kg/m
K2	234419.944	kg/m
C2	5178.502	kg/m

Tabla 30: Dimensiones del AMS – C2M2

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	6.000	m
e1	38.966	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	6.000	m
e2	38.966	cm

Tabla 31: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M7

C2 - M7		
10%		
Pd total	134667.875	kg
Pd total	134.668	Tn
IZQUIERDA		
5.83%		
Pd 1	78556.260	kg

Pd 1	78.556	Tn
md 1	8007.774	kgxs2/m
K Total 1	2625503.375	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	57999.223	kg/m
K1	656375.844	kg/m
C1	14499.806	kg/m
DERECHA		
4.17%		
Pd 2	56111.615	kg
Pd 2	56.112	Tn
md 2	5719.838	kgxs2/m
K Total 2	1875359.554	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	41428.017	kg/m
K2	468839.888	kg/m
C2	10357.004	kg/m

Tabla 32: Dimensiones del AMS – C2M7

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	6.000	m
e1	77.933	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	6.000	m
e2	77.933	cm

Tabla 33: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M3

C2 - M3		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	Tn
IZQUIERDA		
0.58%		
Pd 1	7855.626	kg
Pd 1	7.856	Tn
md 1	800.777	kgxs2/m
K Total 1	262550.338	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	5799.922	kg/m

K1	65637.584	kg/m
C1	1449.981	kg/m
DERECHA		
0.42%		
Pd 2	5611.161	kg
Pd 2	5.611	Tn
md 2	571.984	kgxs2/m
K Total 2	187535.955	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	4142.802	kg/m
K2	46883.989	kg/m
C2	1035.700	kg/m

Tabla 34: Dimensiones del AMS – C2M3

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	4.500	m
e1	10.391	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	4.500	m
e2	10.391	cm

Tabla 35: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M4

C2 - M4		
5%		
Pd total	67333.938	kg
Pd total	67.334	Tn
IZQUIERDA		
2.92%		
Pd 1	39278.130	kg
Pd 1	39.278	Tn
md 1	4003.887	kgxs2/m
K Total 1	1312751.688	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	28999.612	kg/m
K1	328187.922	kg/m
C1	7249.903	kg/m
DERECHA		

2.08%		
Pd 2	28055.807	kg
Pd 2	28.056	Tn
md 2	2859.919	kgxs2/m
K Total 2	937679.777	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	20714.008	kg/m
K2	234419.944	kg/m
C2	5178.502	kg/m

Tabla 36: Dimensiones del AMS – C2M4

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	4.500	m
e1	51.955	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	4.500	m
e2	51.955	cm

Tabla 37: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M5

C2 - M5		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	Tn
IZQUIERDA		
0.58%		
Pd 1	7855.626	kg
Pd 1	7.856	Tn
md 1	800.777	kgxs2/m
K Total 1	262550.338	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	5799.922	kg/m
K1	65637.584	kg/m
C1	1449.981	kg/m
DERECHA		
0.42%		
Pd 2	5611.161	kg
Pd 2	5.611	Tn
md 2	571.984	kgxs2/m

K Total 2	187535.955	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	4142.802	kg/m
K2	46883.989	kg/m
C2	1035.700	kg/m

Tabla 38: Dimensiones del AMS – C2M5

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	5.000	m
e1	9.352	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	5.000	m
e2	9.352	cm

Tabla 39: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M6

C2 - M6		
5%		
Pd total	67333.938	kg
Pd total	67.334	Tn
IZQUIERDA		
2.92%		
Pd 1	39278.130	kg
Pd 1	39.278	Tn
md 1	4003.887	kgxs2/m
K Total 1	1312751.688	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	28999.612	kg/m
K1	328187.922	kg/m
C1	7249.903	kg/m
DERECHA		
2.08%		
Pd 2	28055.807	kg
Pd 2	28.056	Tn
md 2	2859.919	kgxs2/m
K Total 2	937679.777	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	20714.008	kg/m
K2	234419.944	kg/m

C2	5178.502	kg/m
----	----------	------

Tabla 40: Dimensiones del AMS – CIM5

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	5.000	m
e1	46.760	cm

Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	5.000	m
e2	46.760	cm

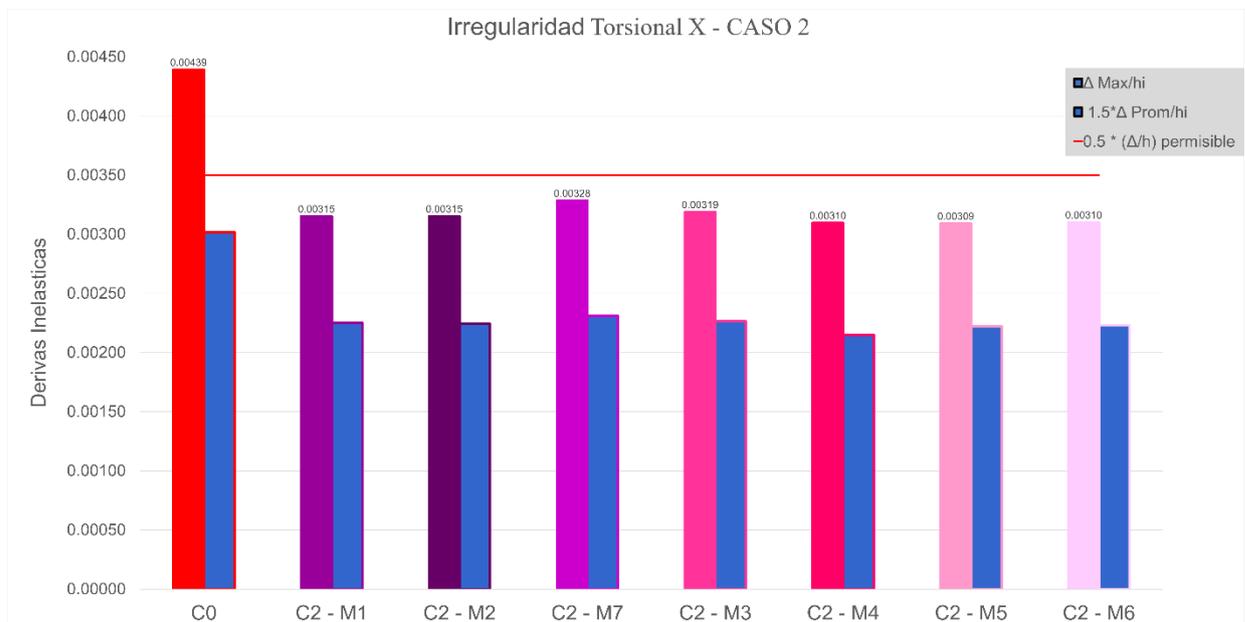


Figura 53: Irregularidad Torsional para los modelos de Caso 2

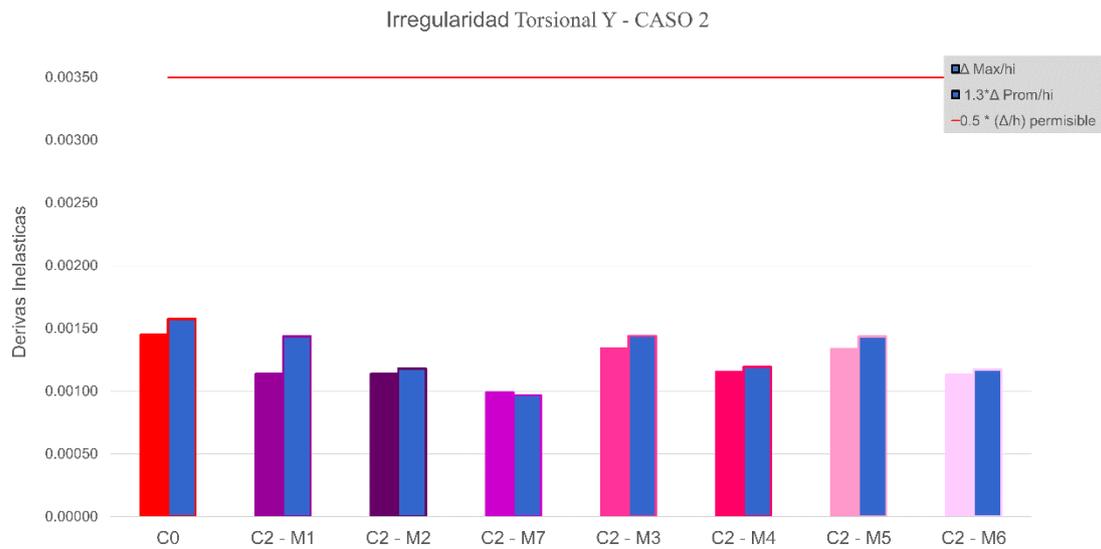


Figura 54: Irregularidad Torsional Y para modelos de caso 2

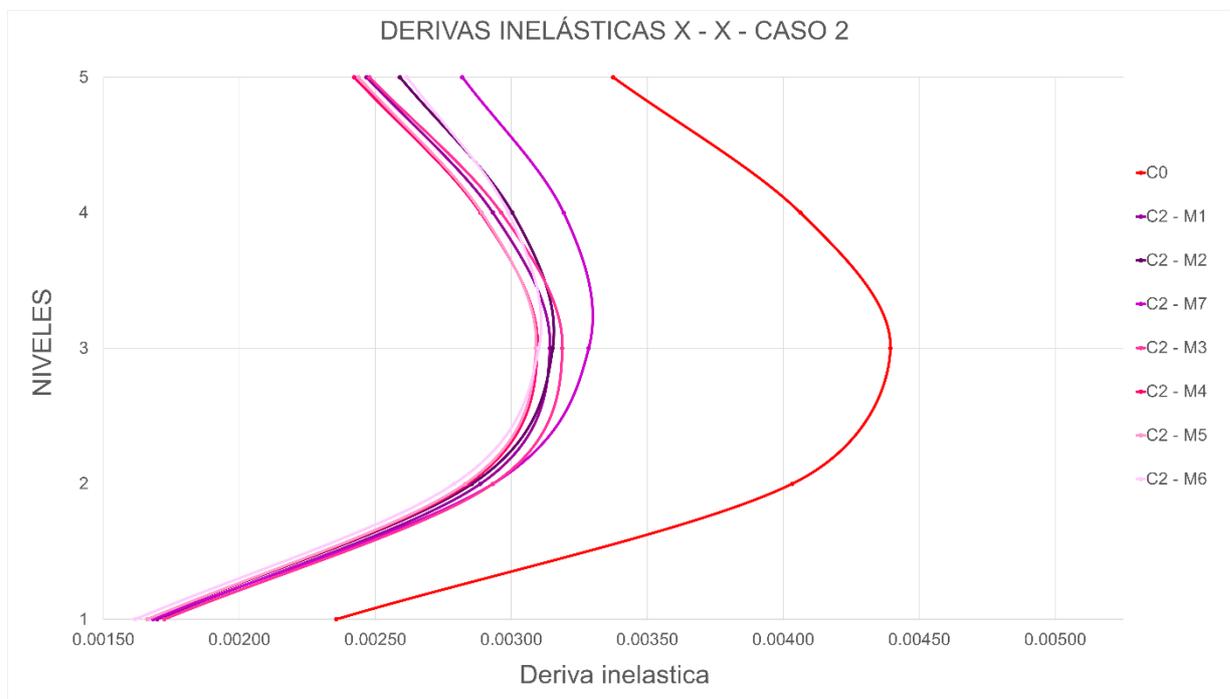


Figura 55: Derivas Inelásticas X - X de los modelos del caso I

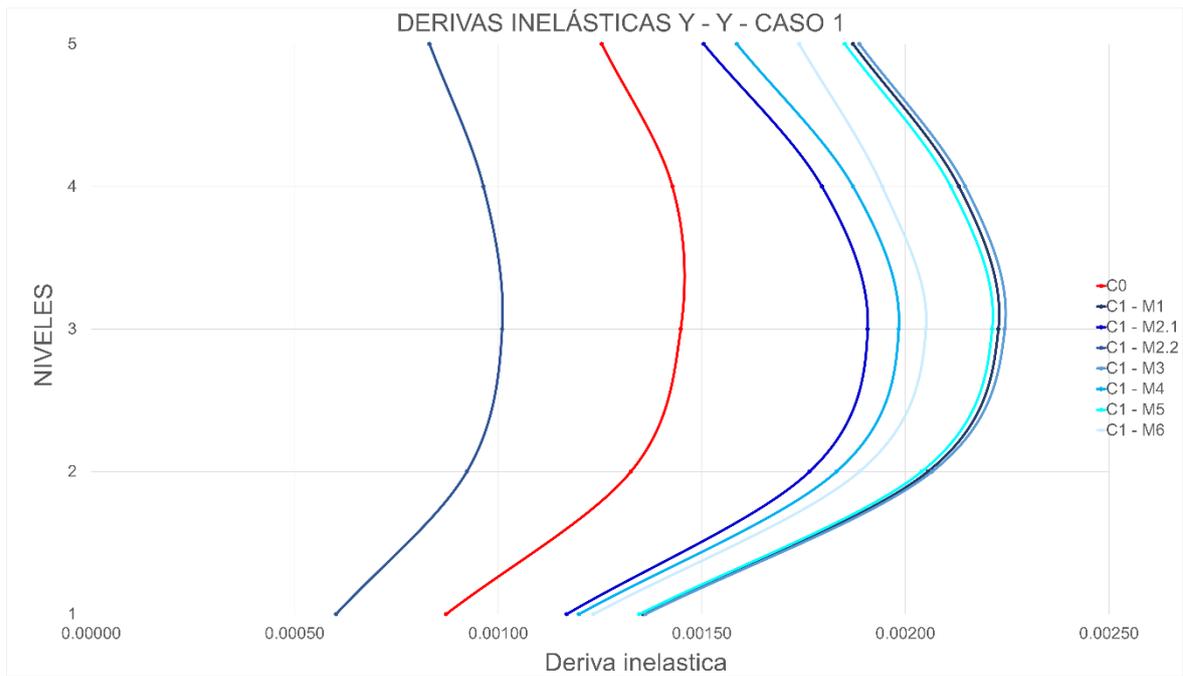


Figura 56: Derivas Inelásticas Y – Y de los modelos del caso 1

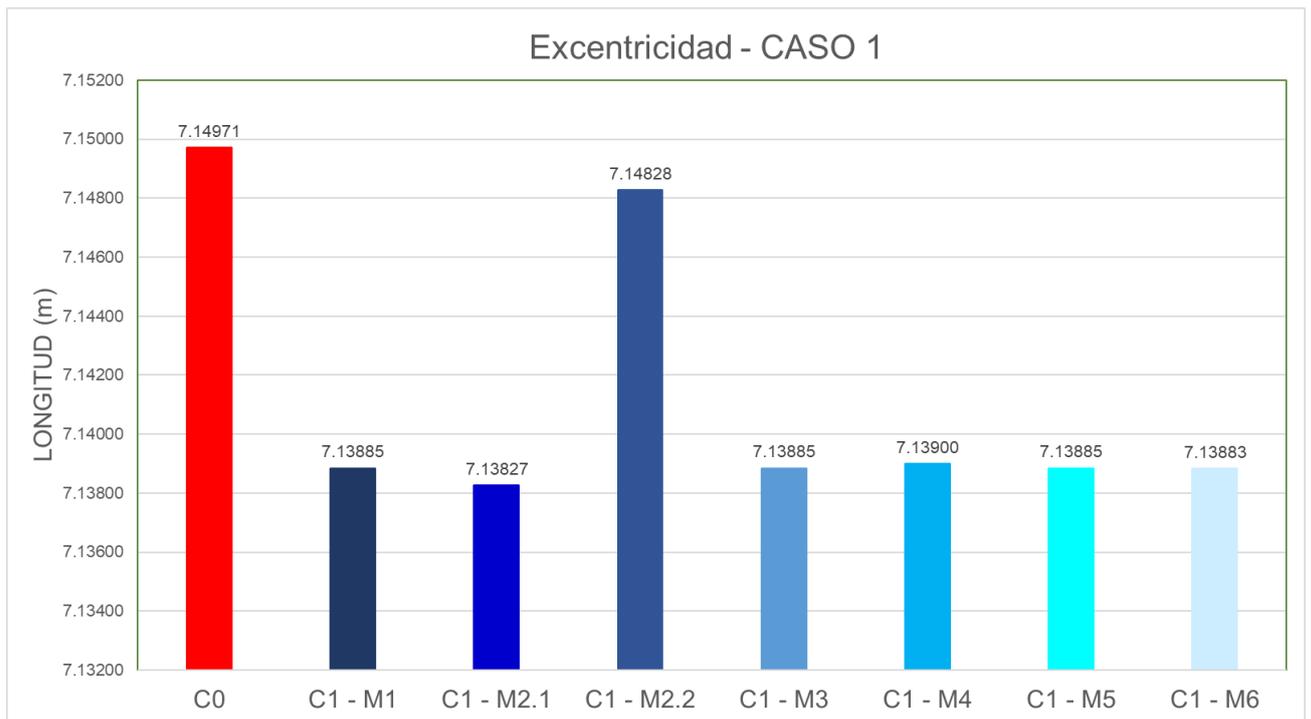


Figura 57: Excentricidad accidental de los modelos del Caso 1

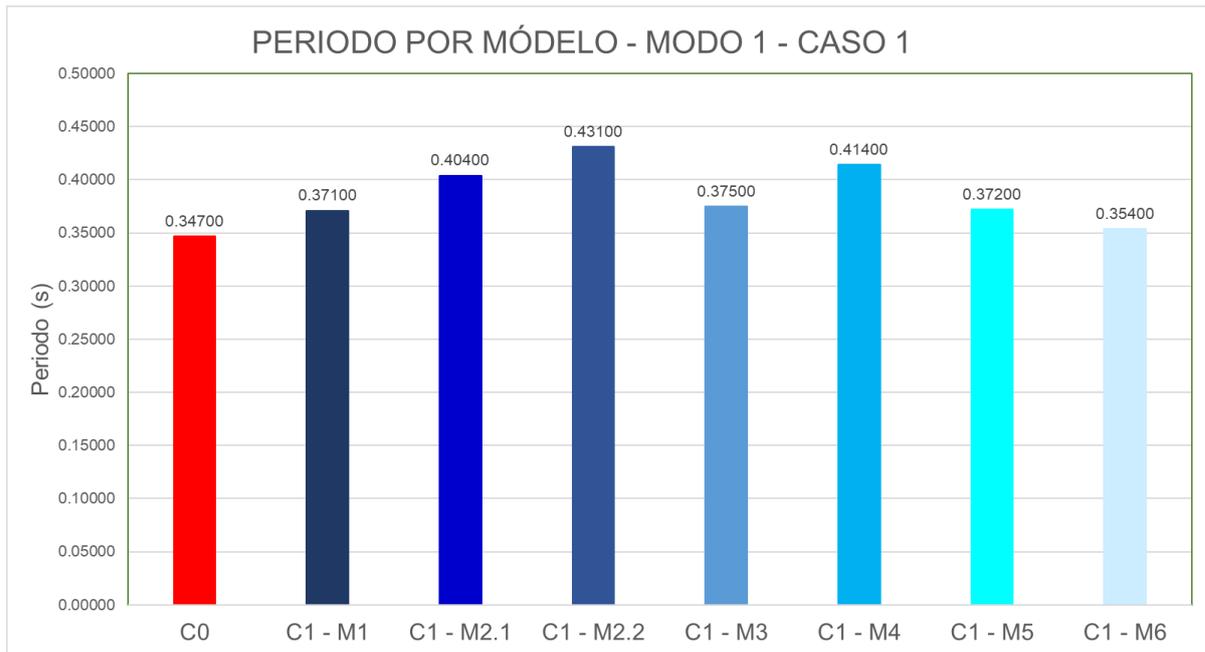


Figura 58: Periodo del primer modo de vibración de los modelos del caso 1

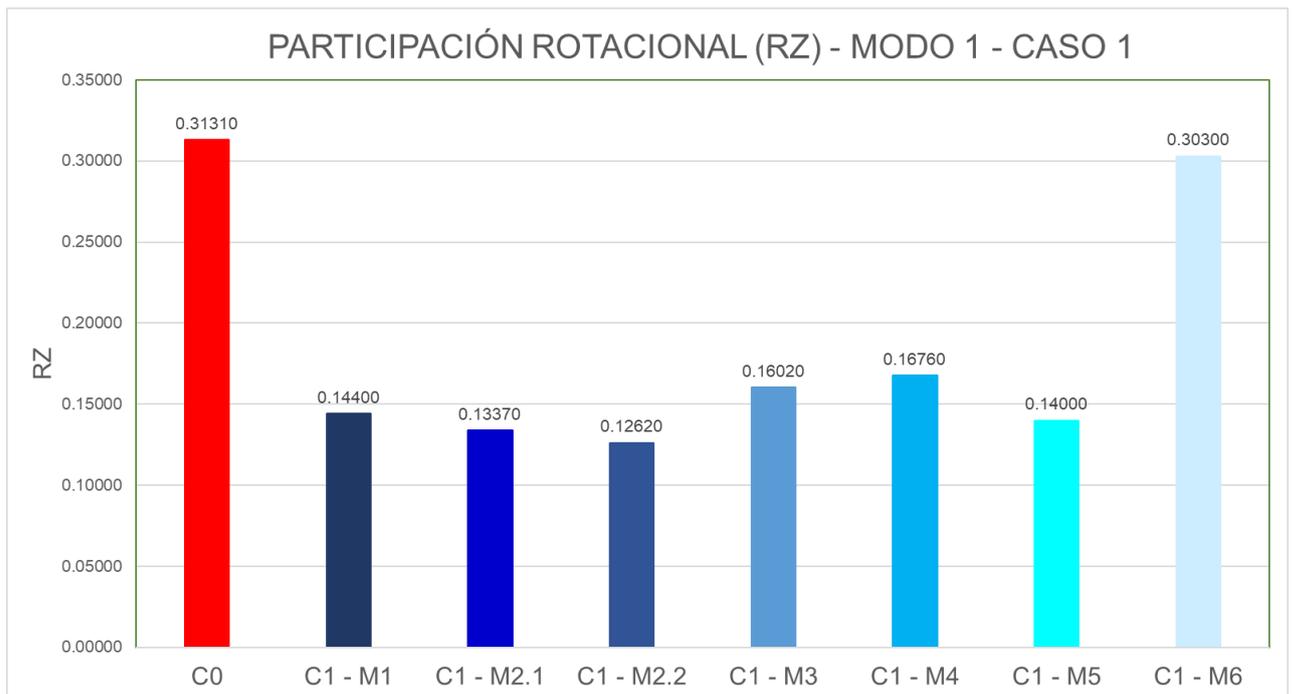


Figura 59: Participación de la masa en rotación del primer modo de vibración para los modelos del Caso 1

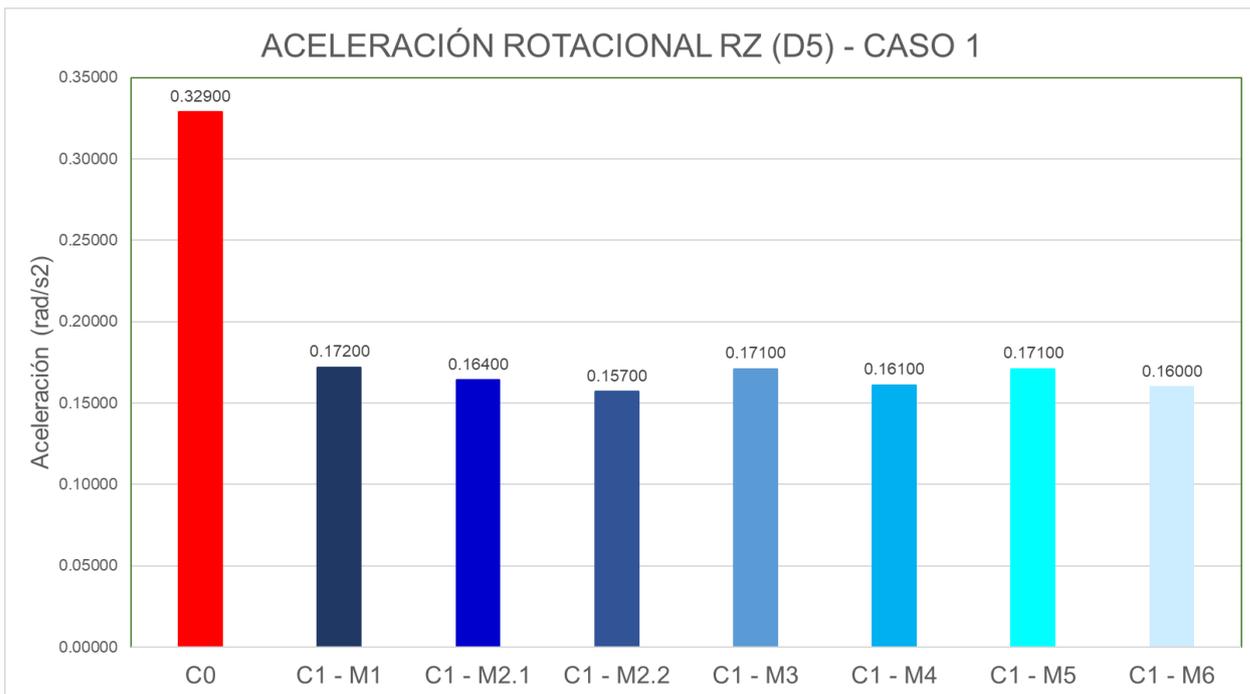


Figura 60: Aceleración rotacional Rz del diafragma del 5 nivel de los modelos de Caso 1

Con respecto al tiempo historia del modelo lineal se obtuvo para el caso 2 como varían las aceleraciones con respecto al tiempo. En las figuras continuas se observa la comparación del caso 0 con el modelo más favorable (C2M6) y desfavorable(C2M3) del caso 2.

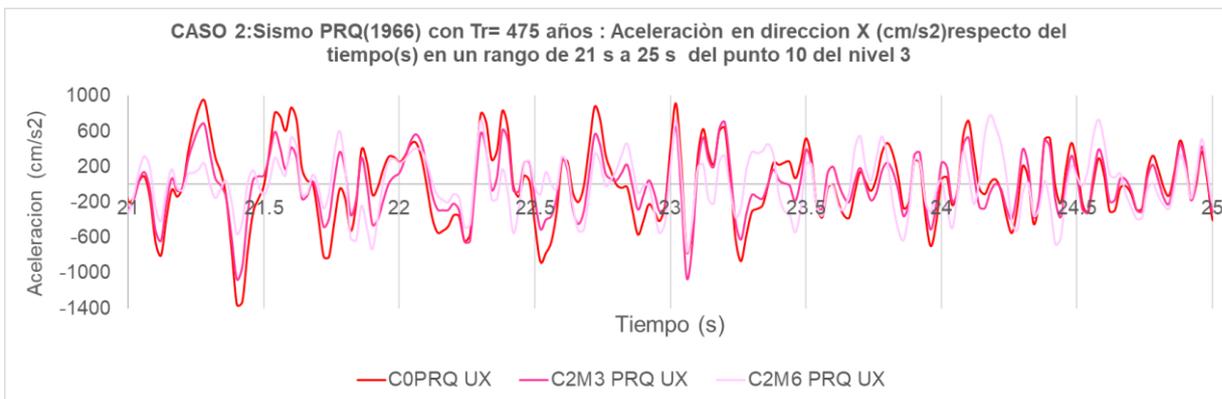


Figura 61 CASO 2: Sismo PRQ(1966) con Tr= 475 años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 21 s a 25 s del punto 10 del nivel 3

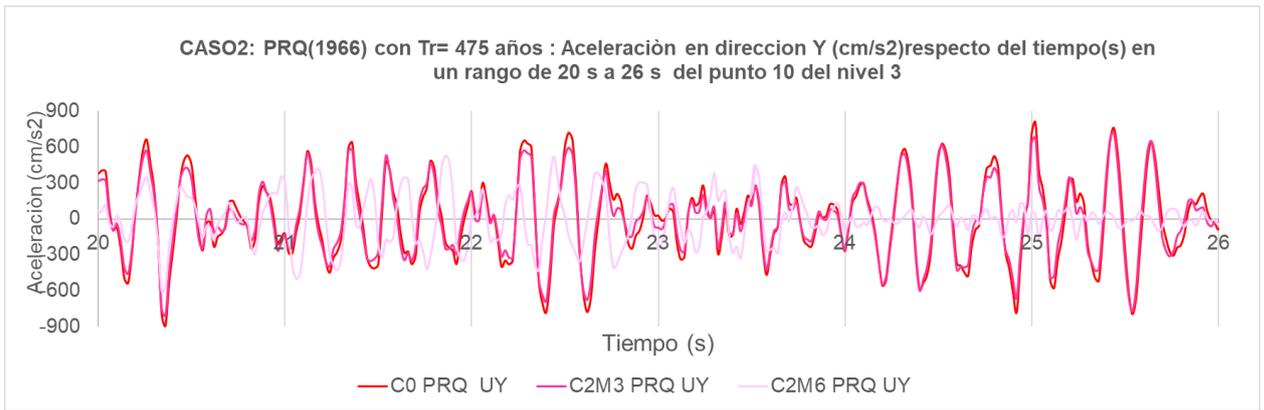


Figura 62 CASO2: PRQ(1966) con  $T_r= 475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 26 s del punto 10 del nivel 3

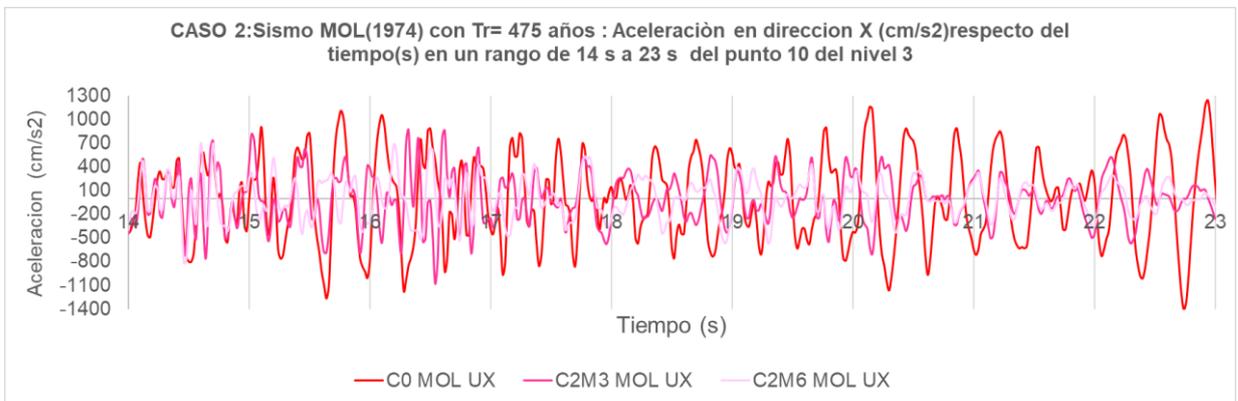


Figura 63 CASO 2:Sismo MOL(1974) con  $T_r= 475$  años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 14 s a 23 s del punto 10 del nivel 3

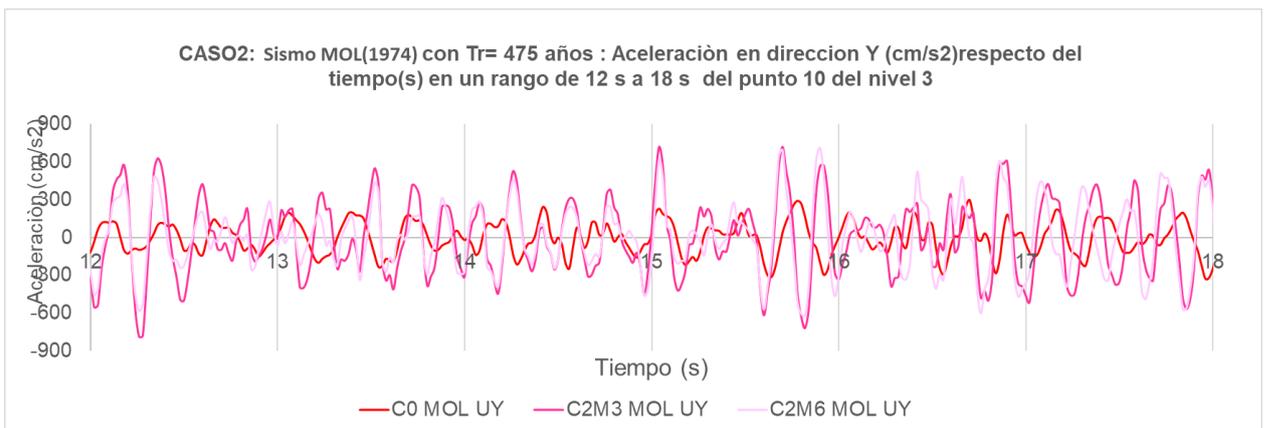


Figura 64 CASO2: Sismo MOL(1974) con  $T_r= 475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 12 s a 18 s del punto 10 del nivel 3

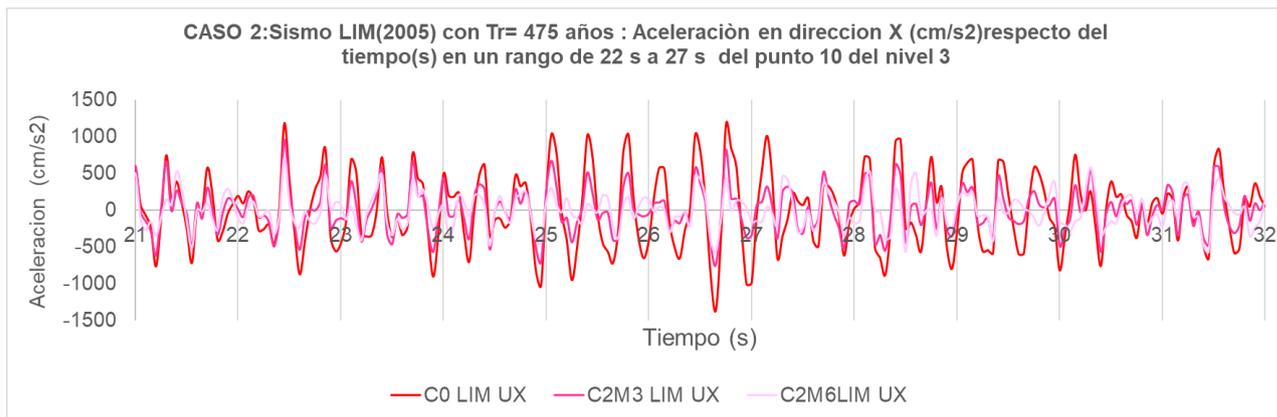


Figura 65 CASO 2: Sismo LIM(2005) con  $T_r = 475$  años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo (s) en un rango de 22 s a 27 s del punto 10 del nivel 3

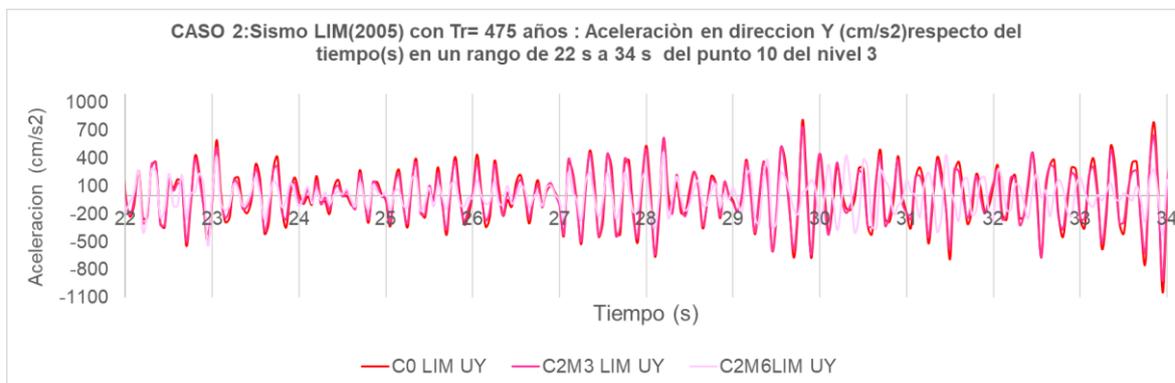


Figura 66: CASO 2: Sismo LIM(2005) con  $T_r = 475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo (s) en un rango de 22 s a 34 s del punto 10 del nivel 3

#### 4.2.3. Análisis de la estructura con el AMS subdividido en 2 masas a una distancia de los ejes centroidales en dirección Y (Caso 3)

Para el caso de estudio se desarrollará 7 modelos (Tabla 5) donde divergen la variación de las masas y la ubicación de la masa. Se detallará el porcentaje de la masa colocada en cada dispositivo y los coeficientes de amortiguamiento para cada modelo de análisis para cada modelo.

Además de los resultados obtenidos para cada variable desarrollada mostrando una comparación de los modelos de este caso.

Tabla 41: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M1

C2 - M1		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	Tn
IZQUIERDA		
0.58%		
Pd 1	7855.626	kg
Pd 1	7.856	Tn
md 1	800.777	kgxs2/m
K Total 1	262550.338	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	5799.922	kg/m
K1	65637.584	kg/m
C1	1449.981	kg/m
DERECHA		
0.42%		
Pd 2	5611.161	kg
Pd 2	5.611	Tn
md 2	571.984	kgxs2/m
K Total 2	187535.955	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	4142.802	kg/m
K2	46883.989	kg/m
C2	1035.700	kg/m

Tabla 42: Dimensiones del AMS – C2M1

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	6.000	m
e1	7.793	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	6.000	m
e2	7.793	cm

Tabla 43: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M2

C2 - M2		
5%		
Pd total	67333.938	kg

Pd total	67.334	Tn
IZQUIERDA		
2.92%		
Pd 1	39278.130	kg
Pd 1	39.278	Tn
md 1	4003.887	kgxs2/m
K Total 1	1312751.688	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	28999.612	kg/m
K1	328187.922	kg/m
C1	7249.903	kg/m
DERECHA		
2.08%		
Pd 2	28055.807	kg
Pd 2	28.056	Tn
md 2	2859.919	kgxs2/m
K Total 2	937679.777	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	20714.008	kg/m
K2	234419.944	kg/m
C2	5178.502	kg/m

Tabla 44: Dimensiones del AMS – C2M2

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	6.000	m
e1	38.966	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	6.000	m
e2	38.966	cm

Tabla 45: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M7

C2 - M7		
10%		
Pd total	134667.875	kg
Pd total	134.668	Tn
IZQUIERDA		
5.83%		
Pd 1	78556.260	kg

Pd 1	78.556	Tn
md 1	8007.774	kgxs2/m
K Total 1	2625503.375	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	57999.223	kg/m
K1	656375.844	kg/m
C1	14499.806	kg/m
DERECHA		
4.17%		
Pd 2	56111.615	kg
Pd 2	56.112	Tn
md 2	5719.838	kgxs2/m
K Total 2	1875359.554	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	41428.017	kg/m
K2	468839.888	kg/m
C2	10357.004	kg/m

Tabla 46: Dimensiones del AMS – C2M7

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	6.000	m
e1	77.933	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	6.000	m
e2	77.933	cm

Tabla 47: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M3

C2 - M3		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	Tn
IZQUIERDA		
0.58%		
Pd 1	7855.626	kg
Pd 1	7.856	Tn
md 1	800.777	kgxs2/m
K Total 1	262550.338	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	5799.922	kg/m

K1	65637.584	kg/m
C1	1449.981	kg/m
DERECHA		
0.42%		
Pd 2	5611.161	kg
Pd 2	5.611	Tn
md 2	571.984	kgxs2/m
K Total 2	187535.955	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	4142.802	kg/m
K2	46883.989	kg/m
C2	1035.700	kg/m

Tabla 48: Dimensiones del AMS – C2M3

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	4.500	m
e1	10.391	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	4.500	m
e2	10.391	cm

Tabla 49: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M4

C2 - M4		
5%		
Pd total	67333.938	kg
Pd total	67.334	Tn
IZQUIERDA		
2.92%		
Pd 1	39278.130	kg
Pd 1	39.278	Tn
md 1	4003.887	kgxs2/m
K Total 1	1312751.688	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	28999.612	kg/m
K1	328187.922	kg/m
C1	7249.903	kg/m
DERECHA		

2.08%		
Pd 2	28055.807	kg
Pd 2	28.056	Tn
md 2	2859.919	kgxs2/m
K Total 2	937679.777	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	20714.008	kg/m
K2	234419.944	kg/m
C2	5178.502	kg/m

Tabla 50: Dimensiones del AMS – C2M4

Losas de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	4.500	m
e1	51.955	cm
Losas de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	4.500	m
e2	51.955	cm

Tabla 51: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M5

C2 - M5		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	Tn
IZQUIERDA		
0.58%		
Pd 1	7855.626	kg
Pd 1	7.856	Tn
md 1	800.777	kgxs2/m
K Total 1	262550.338	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	5799.922	kg/m
K1	65637.584	kg/m
C1	1449.981	kg/m
DERECHA		
0.42%		
Pd 2	5611.161	kg
Pd 2	5.611	Tn
md 2	571.984	kgxs2/m

K Total 2	187535.955	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	4142.802	kg/m
K2	46883.989	kg/m
C2	1035.700	kg/m

Tabla 52: Dimensiones del AMS – C2M5

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	5.000	m
e1	9.352	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	5.000	m
e2	9.352	cm

Tabla 53: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M6

C2 - M6		
5%		
Pd total	67333.938	kg
Pd total	67.334	Tn
IZQUIERDA		
2.92%		
Pd 1	39278.130	kg
Pd 1	39.278	Tn
md 1	4003.887	kgxs2/m
K Total 1	1312751.688	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	28999.612	kg/m
K1	328187.922	kg/m
C1	7249.903	kg/m
DERECHA		
2.08%		
Pd 2	28055.807	kg
Pd 2	28.056	Tn
md 2	2859.919	kgxs2/m
K Total 2	937679.777	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	20714.008	kg/m
K2	234419.944	kg/m

C2	5178.502	kg/m
----	----------	------

Tabla 54: Dimensiones del AMS – CIM5

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	5.000	m
e1	46.760	cm

Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	5.000	m
e2	46.760	cm

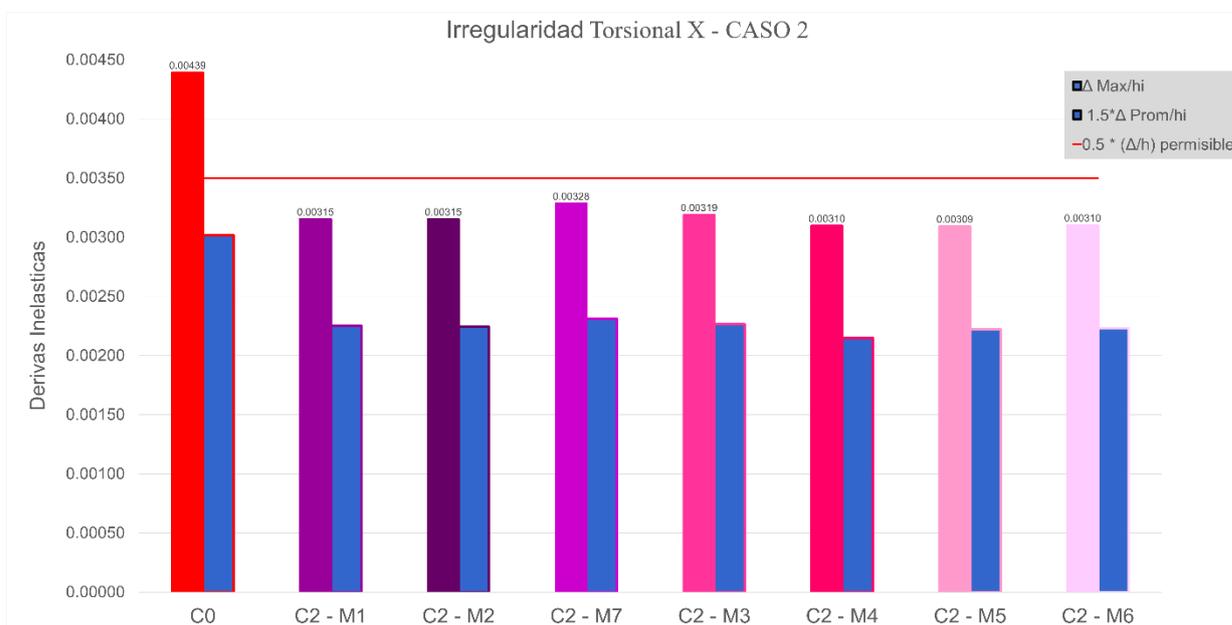


Figura 67: Irregularidad Torsional para los modelos de Caso 2

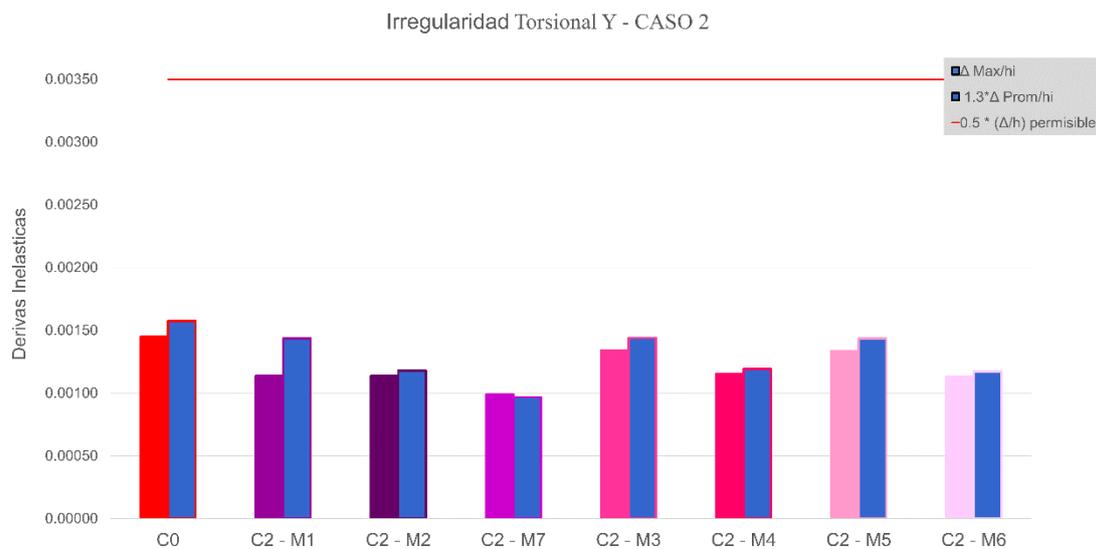


Figura 68: Irregularidad Torsional Y para modelos de caso 2

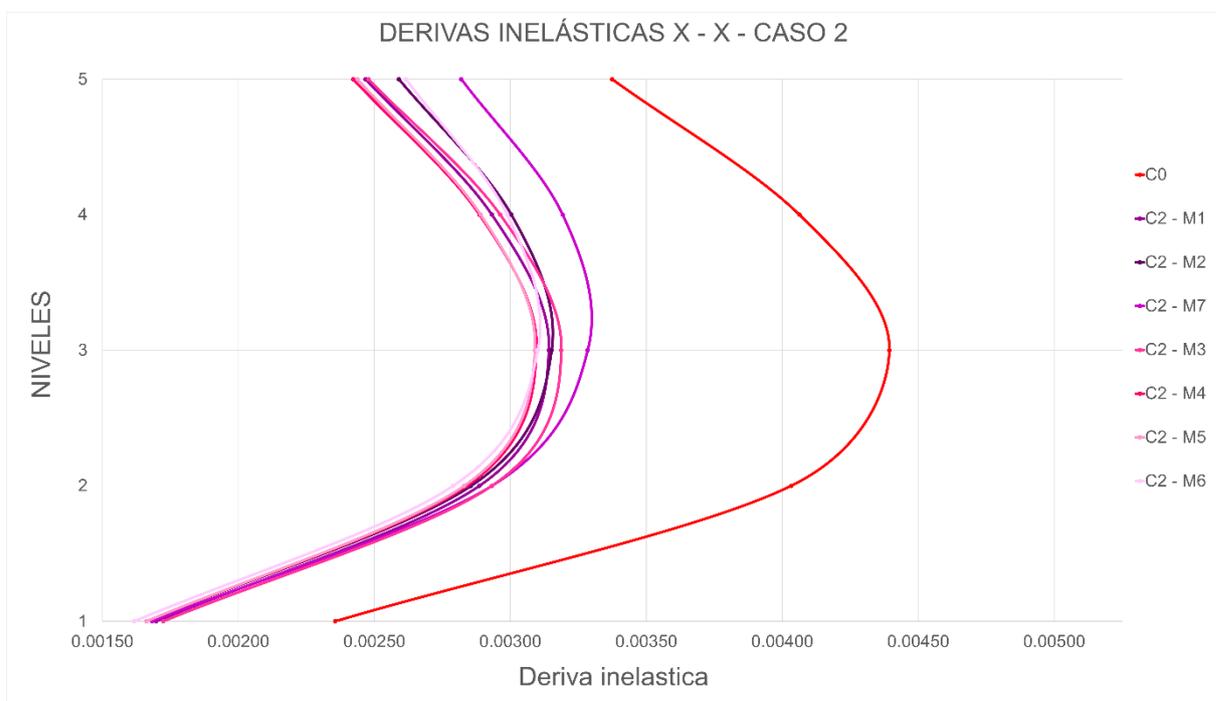


Figura 69: Derivas Inelásticas X - X de los modelos del caso I

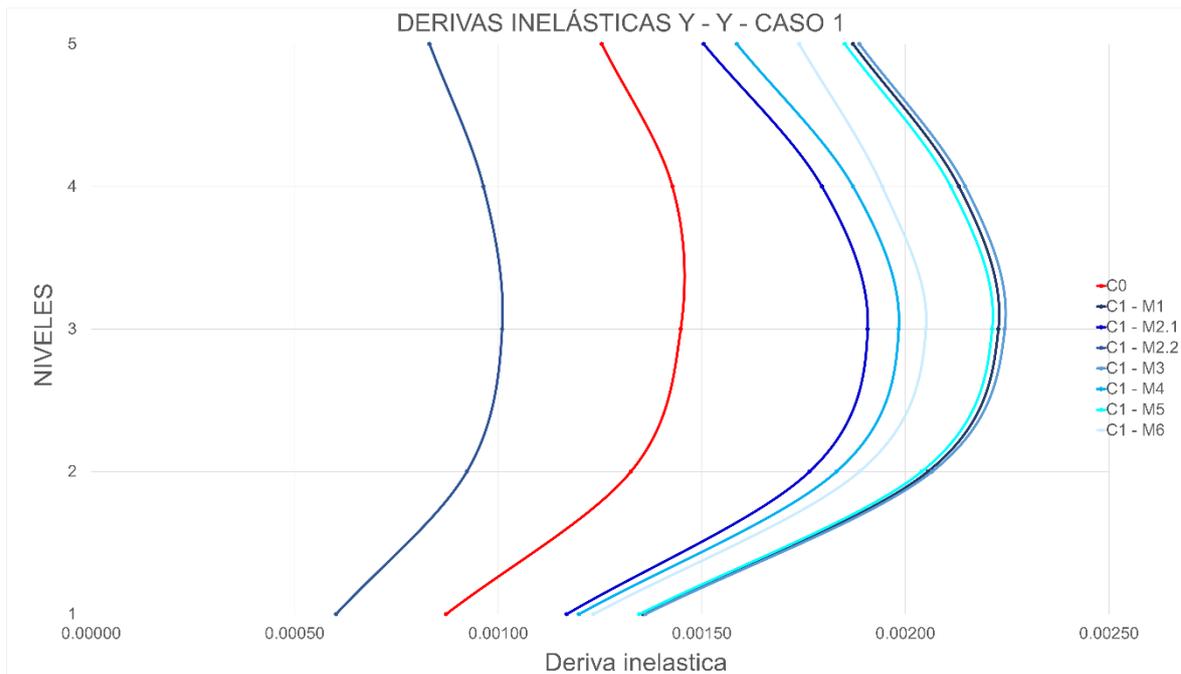


Figura 70: Derivas Inelásticas Y – Y de los modelos del caso 1

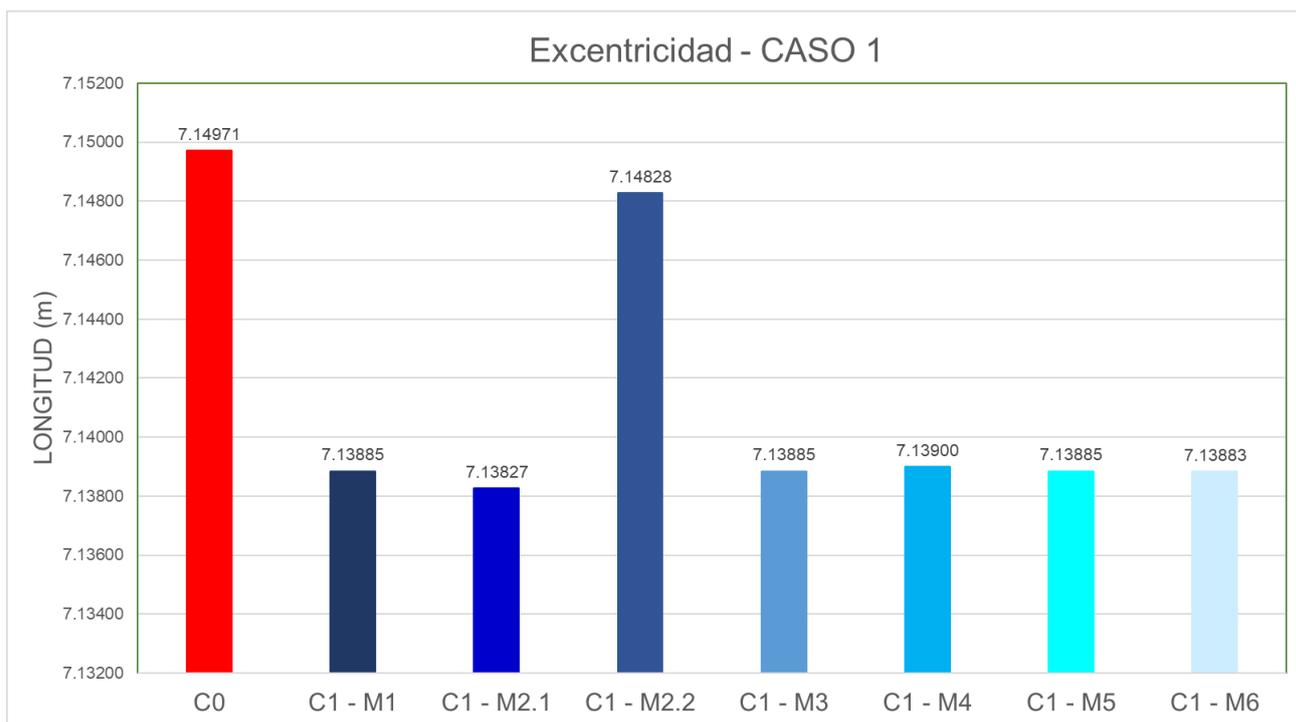


Figura 71: Excentricidad accidental de los modelos del Caso 1

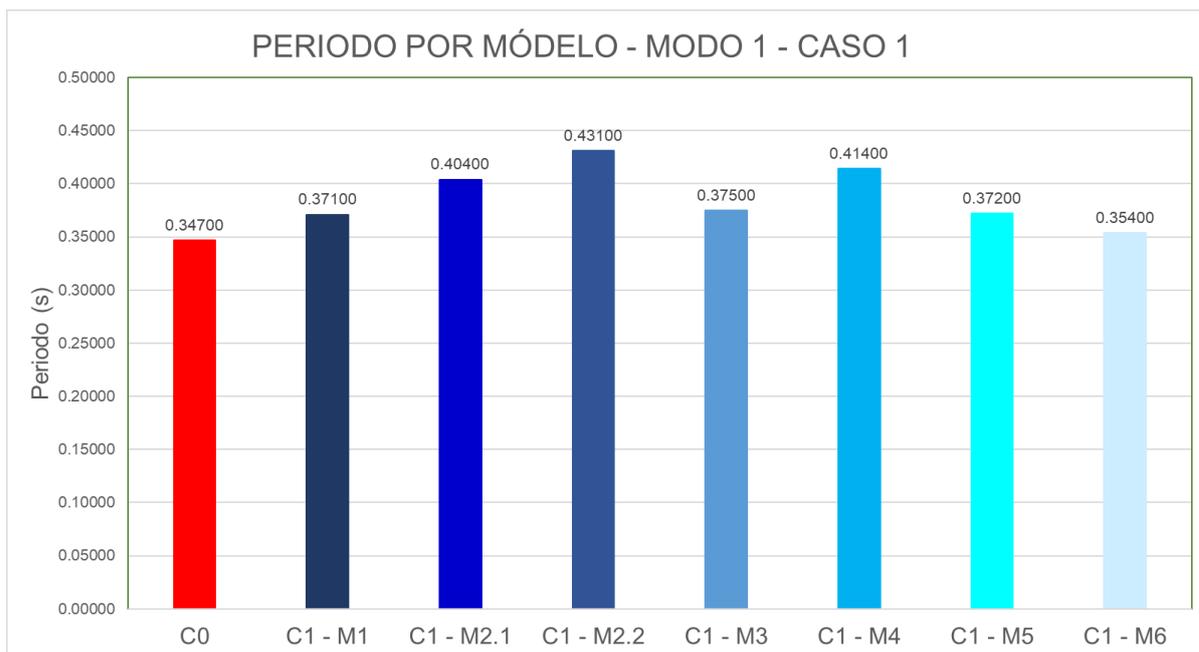


Figura 72: Periodo del primer modo de vibración de los modelos del caso 1

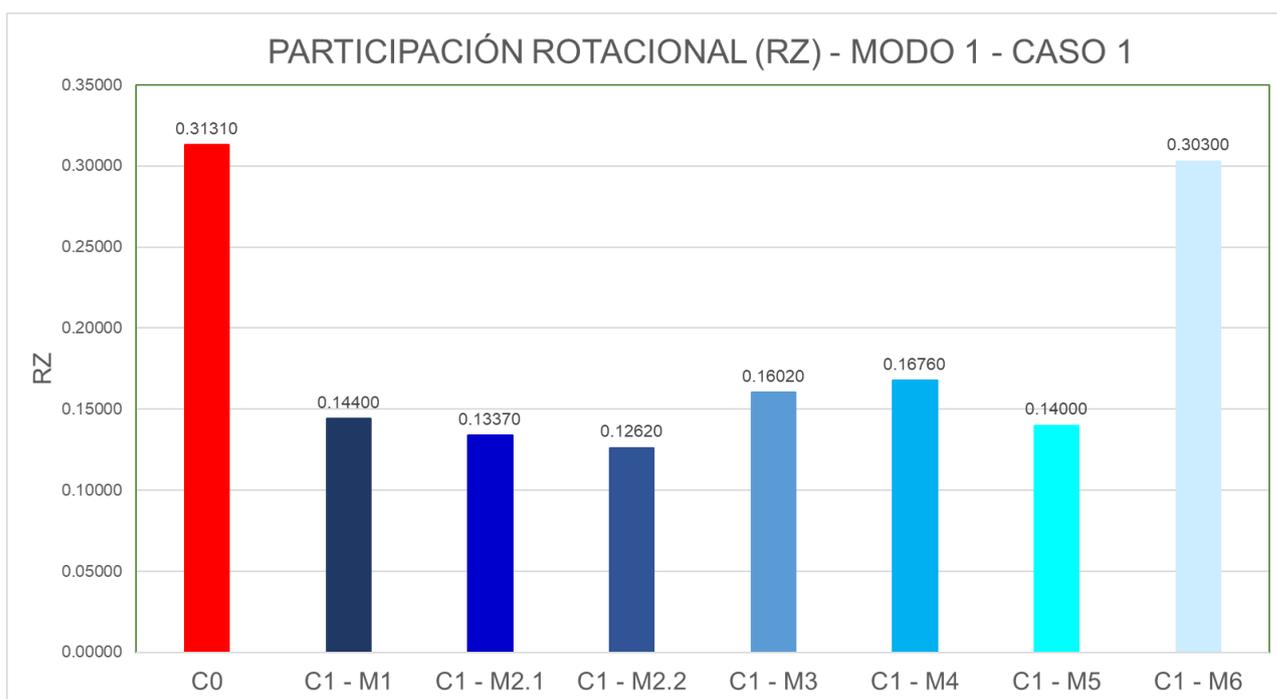


Figura 73: Participación de la masa en rotación del primer modo de vibración para los modelos del Caso 1

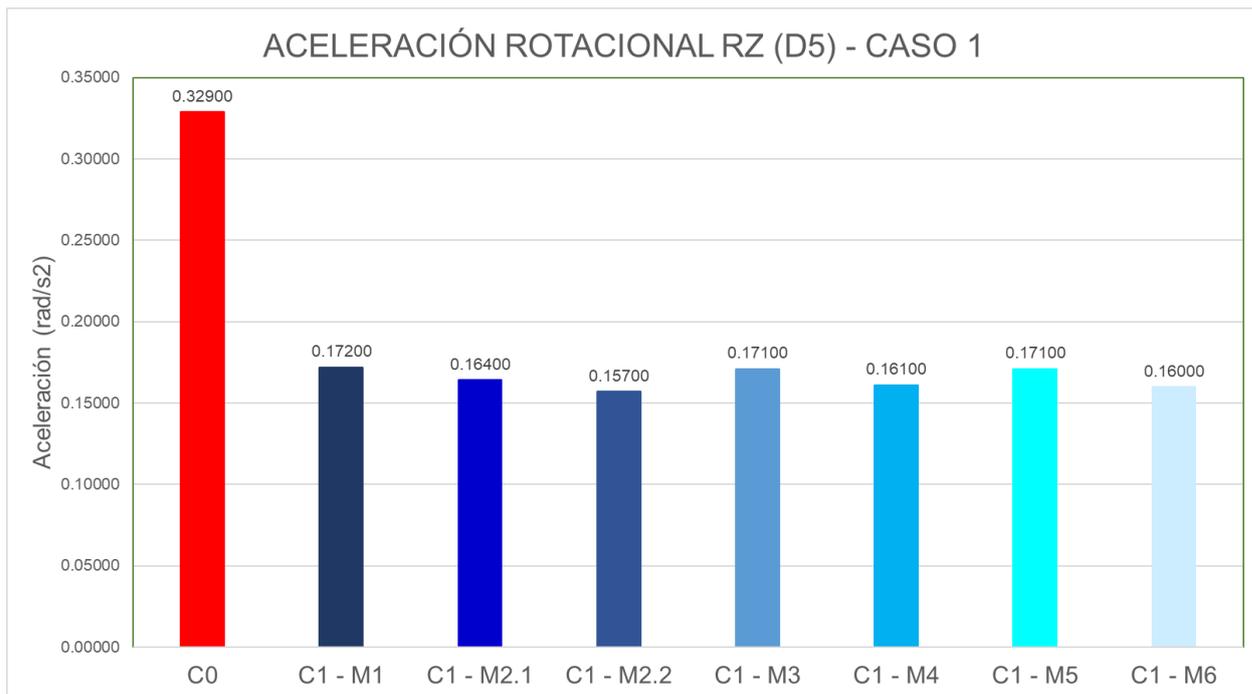


Figura 74: Aceleración rotacional Rz del diafragma del 5 nivel de los modelos de Caso 1

Con respecto al tiempo historia del modelo lineal se obtuvo para el caso 3 como varían las aceleraciones con respecto al tiempo. En las figuras continuas se observa la comparación del caso 0 con el modelo más favorable (C3M5) y desfavorable(C3M1) del caso 3.

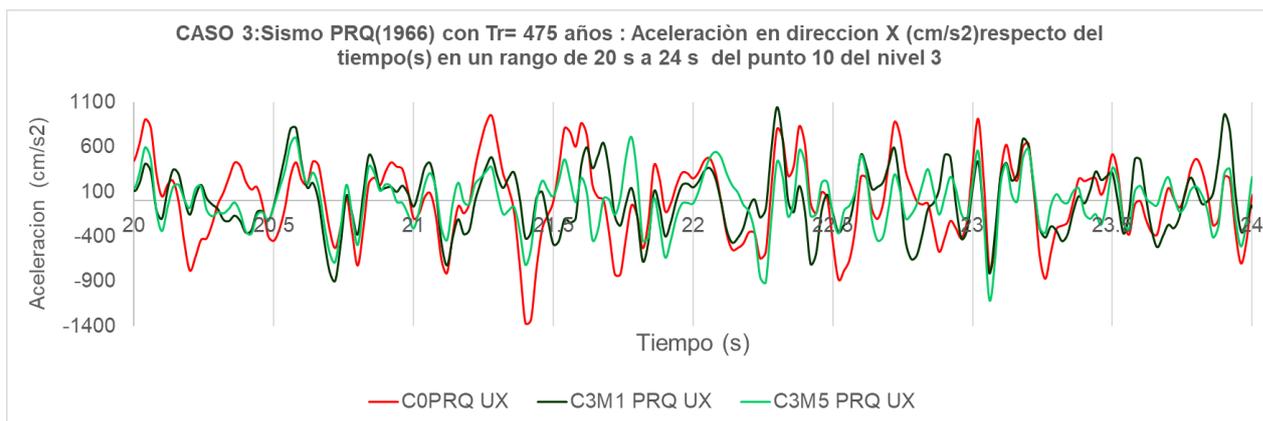


Figura 75 CASO 3:Sismo PRQ(1966) con Tr= 475 años : Aceleración en dirección X (cm/s²) respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 24 s del punto 10 del nivel 3

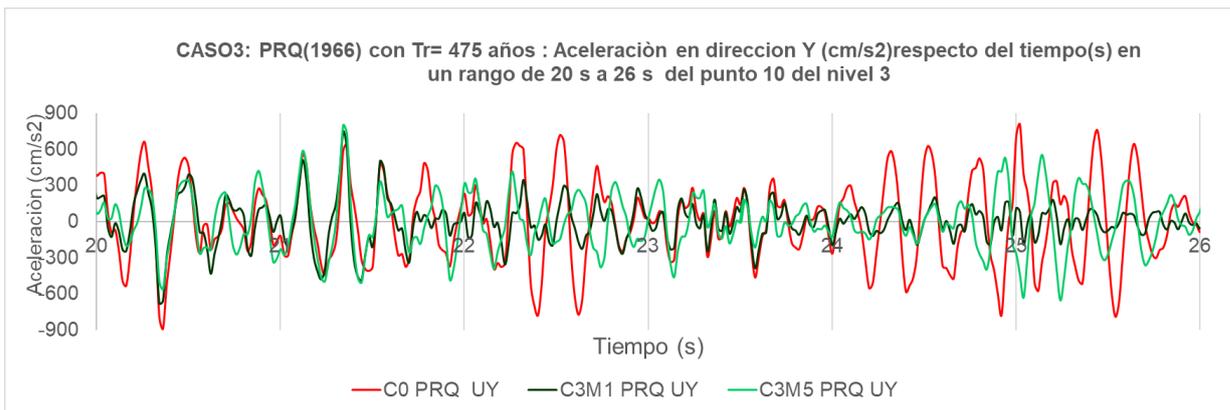


Figura 76 CASO3: PRQ(1966) con  $T_r=475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 26 s del punto 10 del nivel 3

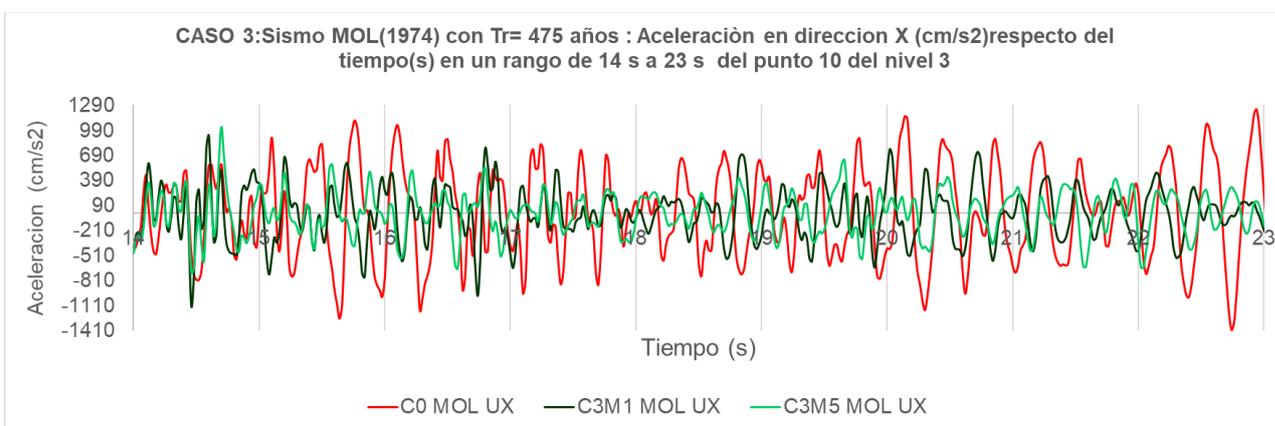


Figura 77 CASO 3: Sismo MOL(1974) con  $T_r=475$  años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 14 s a 23 s del punto 10 del nivel 3

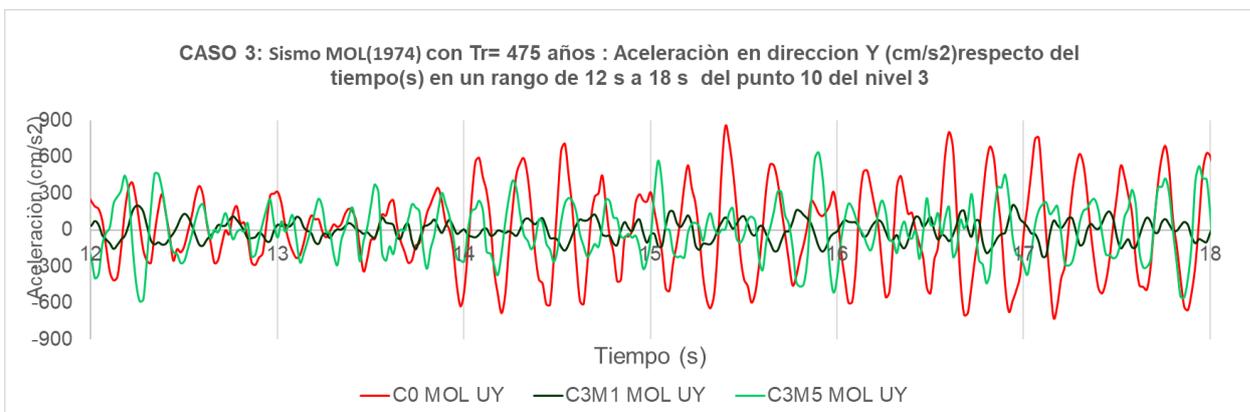


Figura 78 CASO 3: Sismo MOL(1974) con  $T_r=475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 12 s a 18 s del punto 10 del nivel 3

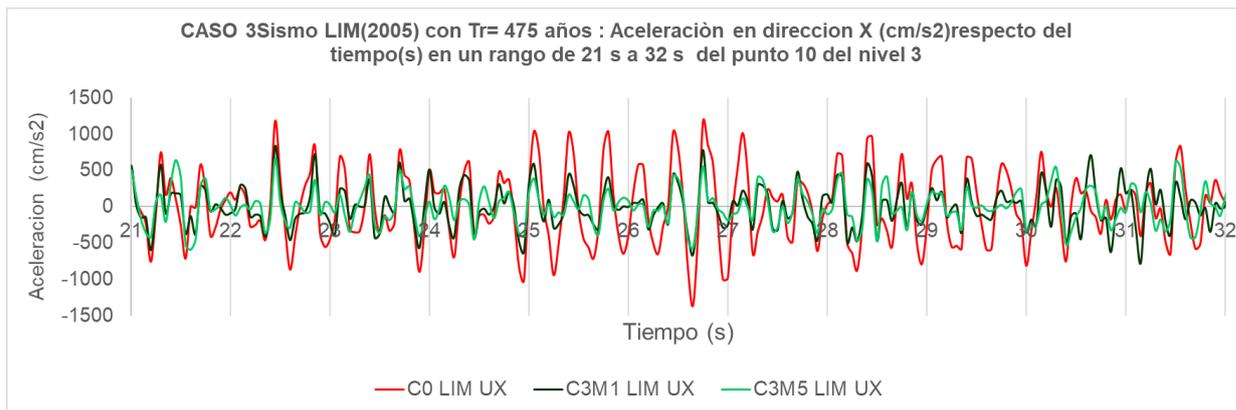


Figura 79 CASO 3Sismo LIM(2005) con  $T_r=475$  años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 21 s a 32 s del punto 10 del nivel 3

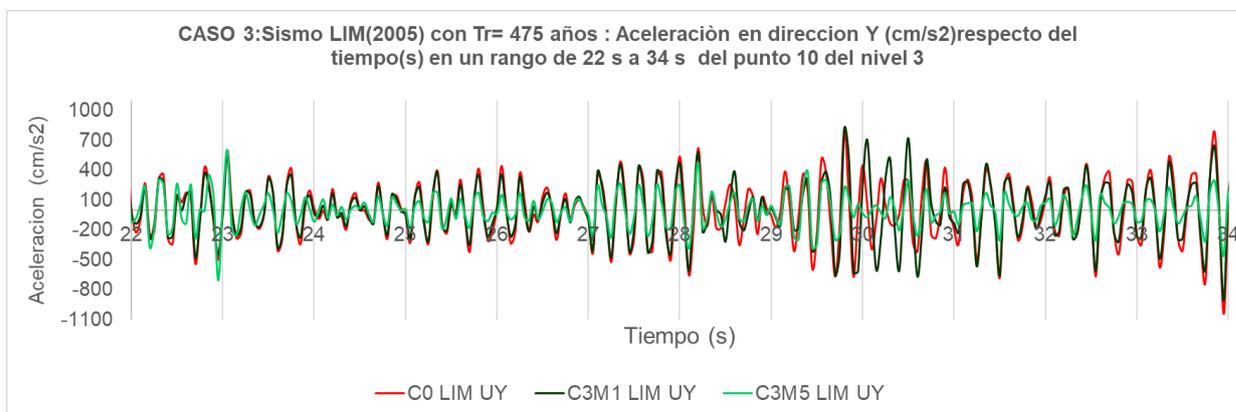


Figura 80 CASO 3:Sismo LIM(2005) con  $T_r=475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 22 s a 34 s del punto 10 del nivel 3

#### 4.2.4. Análisis de la estructura de estudio con 2 AMS subdivididos a distancias aleatorias en las esquinas de la edificación (Caso 4)

Para el caso de estudio se desarrollará 7 modelos (Tabla 5) donde divergen la variación de las masas y la ubicación de la masa. Se detallará el porcentaje de la masa colocada en cada dispositivo y los coeficientes de amortiguamiento para cada modelo de análisis para cada modelo.

Además de los resultados obtenidos para cada variable desarrollada mostrando una comparación de los modelos de este caso.

*Tabla 55: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M1*

C2 - M1		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	Tn
IZQUIERDA		
0.58%		
Pd 1	7855.626	kg
Pd 1	7.856	Tn
md 1	800.777	kgxs2/m
K Total 1	262550.338	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	5799.922	kg/m
K1	65637.584	kg/m
C1	1449.981	kg/m
DERECHA		
0.42%		
Pd 2	5611.161	kg
Pd 2	5.611	Tn
md 2	571.984	kgxs2/m
K Total 2	187535.955	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	4142.802	kg/m
K2	46883.989	kg/m
C2	1035.700	kg/m

*Tabla 56: Dimensiones del AMS – C2M1*

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	6.000	m
e1	7.793	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	6.000	m
e2	7.793	cm

Tabla 57: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M2

C2 - M2		
5%		
Pd total	67333.938	kg
Pd total	67.334	Tn
IZQUIERDA		
2.92%		
Pd 1	39278.130	kg
Pd 1	39.278	Tn
md 1	4003.887	kgxs2/m
K Total 1	1312751.688	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	28999.612	kg/m
K1	328187.922	kg/m
C1	7249.903	kg/m
DERECHA		
2.08%		
Pd 2	28055.807	kg
Pd 2	28.056	Tn
md 2	2859.919	kgxs2/m
K Total 2	937679.777	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	20714.008	kg/m
K2	234419.944	kg/m
C2	5178.502	kg/m

Tabla 58: Dimensiones del AMS – C2M2

Losas de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	6.000	m
e1	38.966	cm
Losas de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	6.000	m
e2	38.966	cm

Tabla 59: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M7

C2 - M7		
10%		
Pd total	134667.875	kg

Pd total	134.668	Tn
IZQUIERDA		
5.83%		
Pd 1	78556.260	kg
Pd 1	78.556	Tn
md 1	8007.774	kgxs2/m
K Total 1	2625503.375	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	57999.223	kg/m
K1	656375.844	kg/m
C1	14499.806	kg/m
DERECHA		
4.17%		
Pd 2	56111.615	kg
Pd 2	56.112	Tn
md 2	5719.838	kgxs2/m
K Total 2	1875359.554	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	41428.017	kg/m
K2	468839.888	kg/m
C2	10357.004	kg/m

Tabla 60: Dimensiones del AMS – C2M7

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	6.000	m
e1	77.933	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	6.000	m
e2	77.933	cm

Tabla 61: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M3

C2 - M3		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	Tn
IZQUIERDA		
0.58%		
Pd 1	7855.626	kg
Pd 1	7.856	Tn

md 1	800.777	kgxs2/m
K Total 1	262550.338	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	5799.922	kg/m
K1	65637.584	kg/m
C1	1449.981	kg/m
DERECHA		
0.42%		
Pd 2	5611.161	kg
Pd 2	5.611	Tn
md 2	571.984	kgxs2/m
K Total 2	187535.955	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	4142.802	kg/m
K2	46883.989	kg/m
C2	1035.700	kg/m

Tabla 62: Dimensiones del AMS – C2M3

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	4.500	m
e1	10.391	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	4.500	m
e2	10.391	cm

Tabla 63: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M4

C2 - M4		
5%		
Pd total	67333.938	kg
Pd total	67.334	Tn
IZQUIERDA		
2.92%		
Pd 1	39278.130	kg
Pd 1	39.278	Tn
md 1	4003.887	kgxs2/m
K Total 1	1312751.688	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	28999.612	kg/m

K1	328187.922	kg/m
C1	7249.903	kg/m
DERECHA		
2.08%		
Pd 2	28055.807	kg
Pd 2	28.056	Tn
md 2	2859.919	kgxs2/m
K Total 2	937679.777	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	20714.008	kg/m
K2	234419.944	kg/m
C2	5178.502	kg/m

Tabla 64: Dimensiones del AMS – C2M4

Losas de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	4.500	m
e1	51.955	cm
Losas de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	4.500	m
e2	51.955	cm

Tabla 65: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M5

C2 - M5		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	Tn
IZQUIERDA		
0.58%		
Pd 1	7855.626	kg
Pd 1	7.856	Tn
md 1	800.777	kgxs2/m
K Total 1	262550.338	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	5799.922	kg/m
K1	65637.584	kg/m
C1	1449.981	kg/m
DERECHA		

0.42%		
Pd 2	5611.161	kg
Pd 2	5.611	Tn
md 2	571.984	kgxs2/m
K Total 2	187535.955	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	4142.802	kg/m
K2	46883.989	kg/m
C2	1035.700	kg/m

Tabla 66: Dimensiones del AMS – C2M5

Losas de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	5.000	m
e1	9.352	cm
Losas de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	5.000	m
e2	9.352	cm

Tabla 67: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M6

C2 - M6		
5%		
Pd total	67333.938	kg
Pd total	67.334	Tn
IZQUIERDA		
2.92%		
Pd 1	39278.130	kg
Pd 1	39.278	Tn
md 1	4003.887	kgxs2/m
K Total 1	1312751.688	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	28999.612	kg/m
K1	328187.922	kg/m
C1	7249.903	kg/m
DERECHA		
2.08%		
Pd 2	28055.807	kg
Pd 2	28.056	Tn
md 2	2859.919	kgxs2/m

K Total 2	937679.777	kg/m
$\xi$	20%	
C Total 2	20714.008	kg/m
K2	234419.944	kg/m
C2	5178.502	kg/m

Tabla 68: Dimensiones del AMS – CIM5

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	5.000	m
e1	46.760	cm

Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	5.000	m
e2	46.760	cm

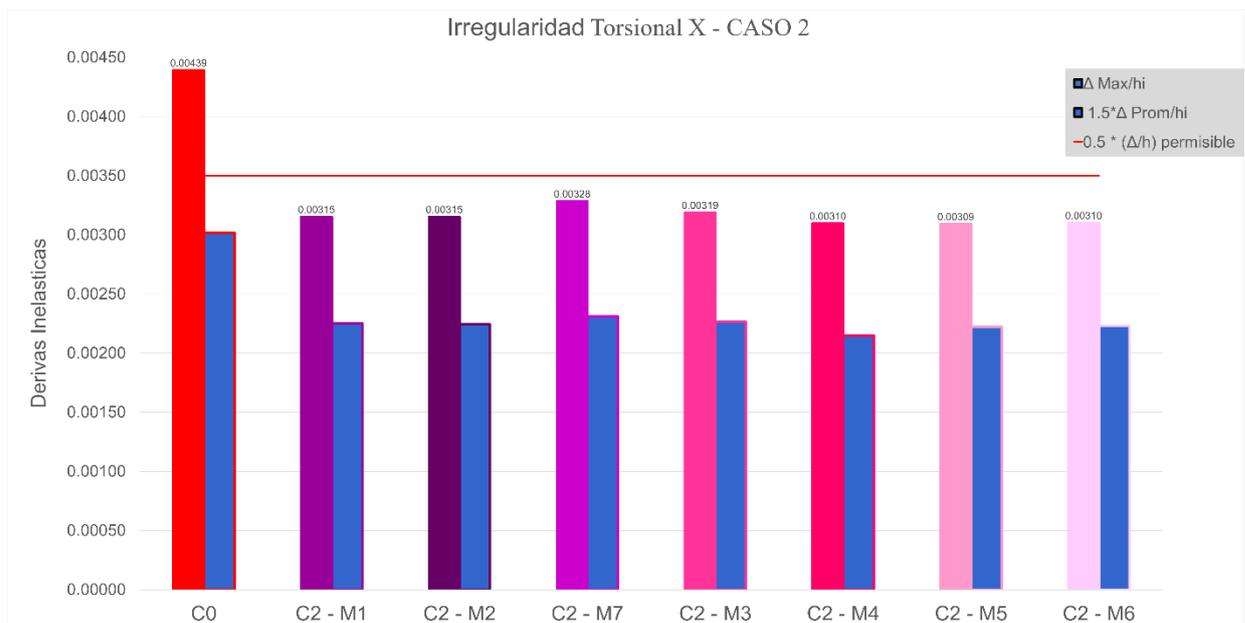


Figura 81: Irregularidad Torsional para los modelos de Caso 2

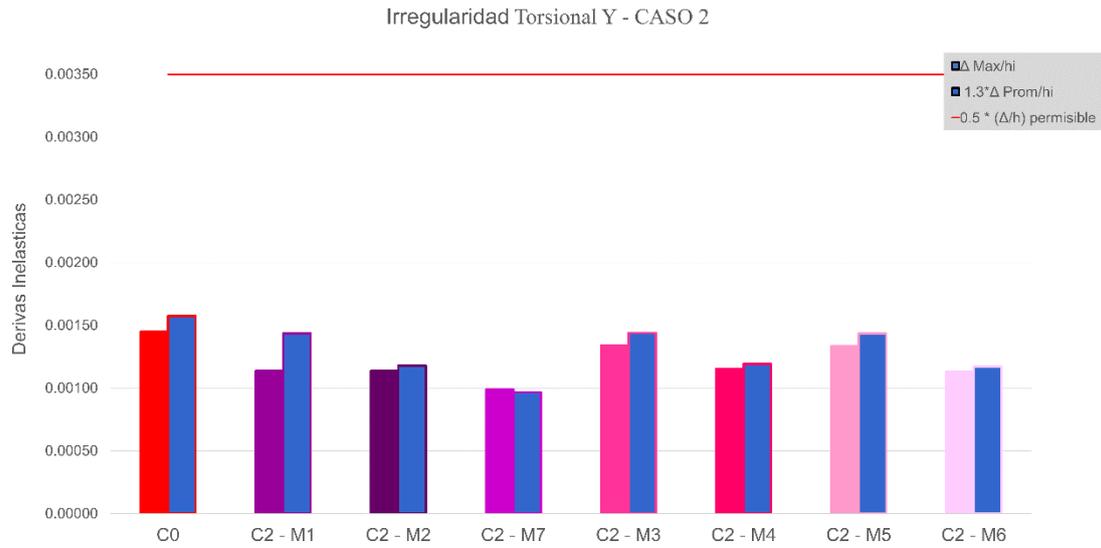


Figura 82: Irregularidad Torsional Y para modelos de caso 2

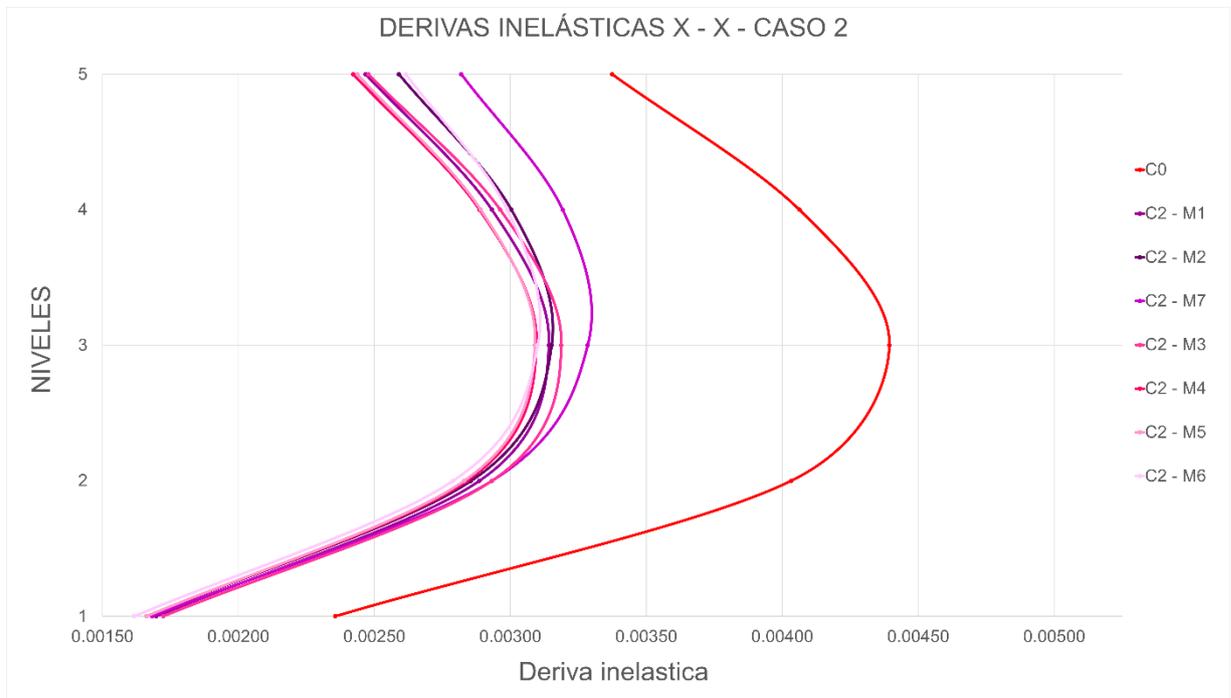


Figura 83: Derivas Inelásticas X - X de los modelos del caso I

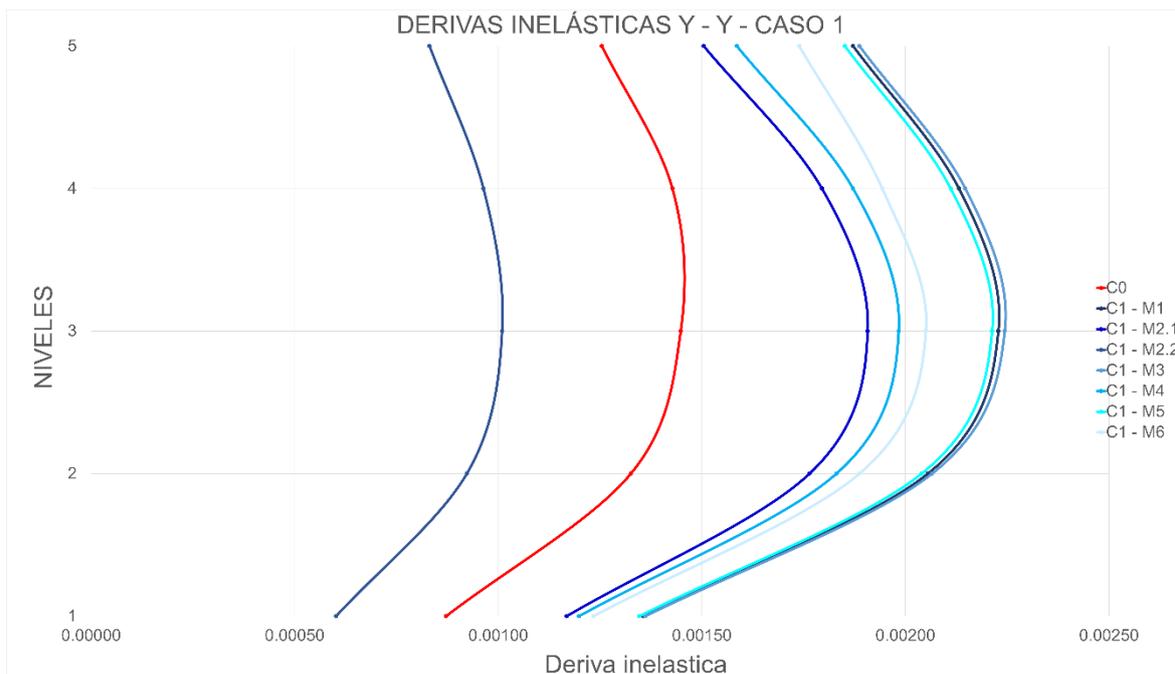


Figura 84: Derivas Inelásticas Y – Y de los modelos del caso 1

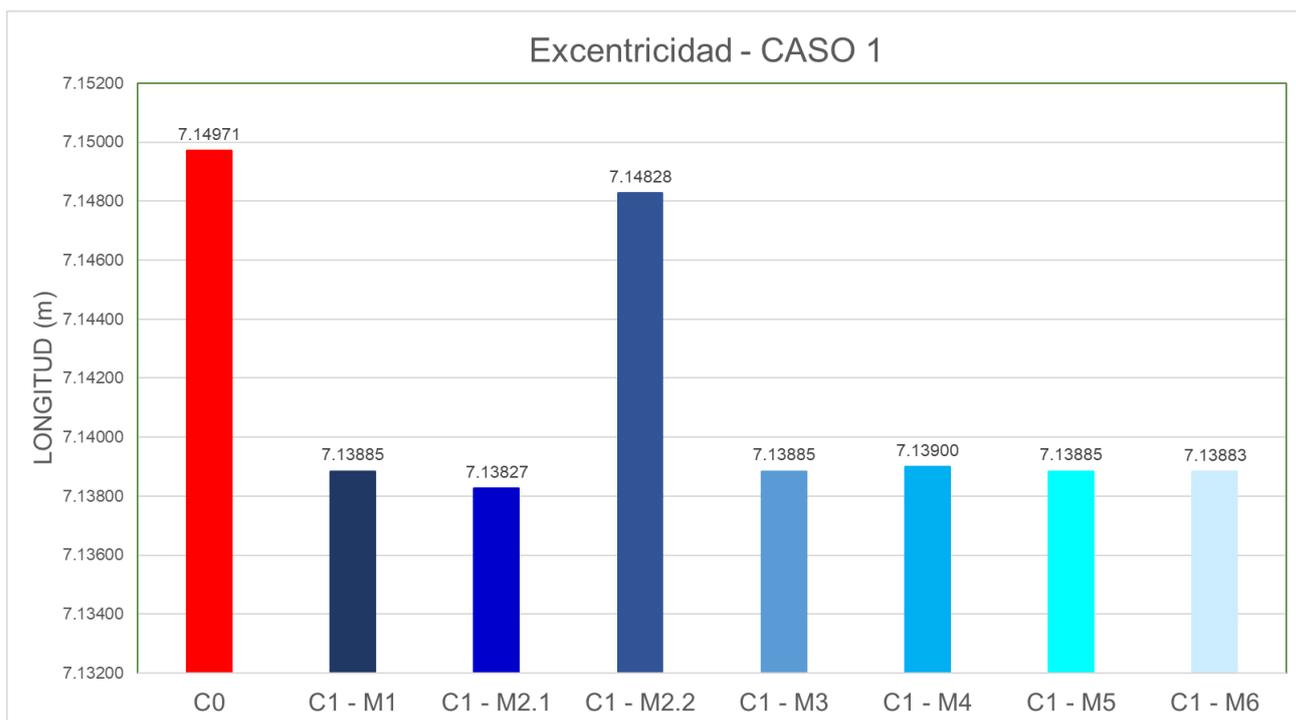


Figura 85: Excentricidad accidental de los modelos del Caso 1

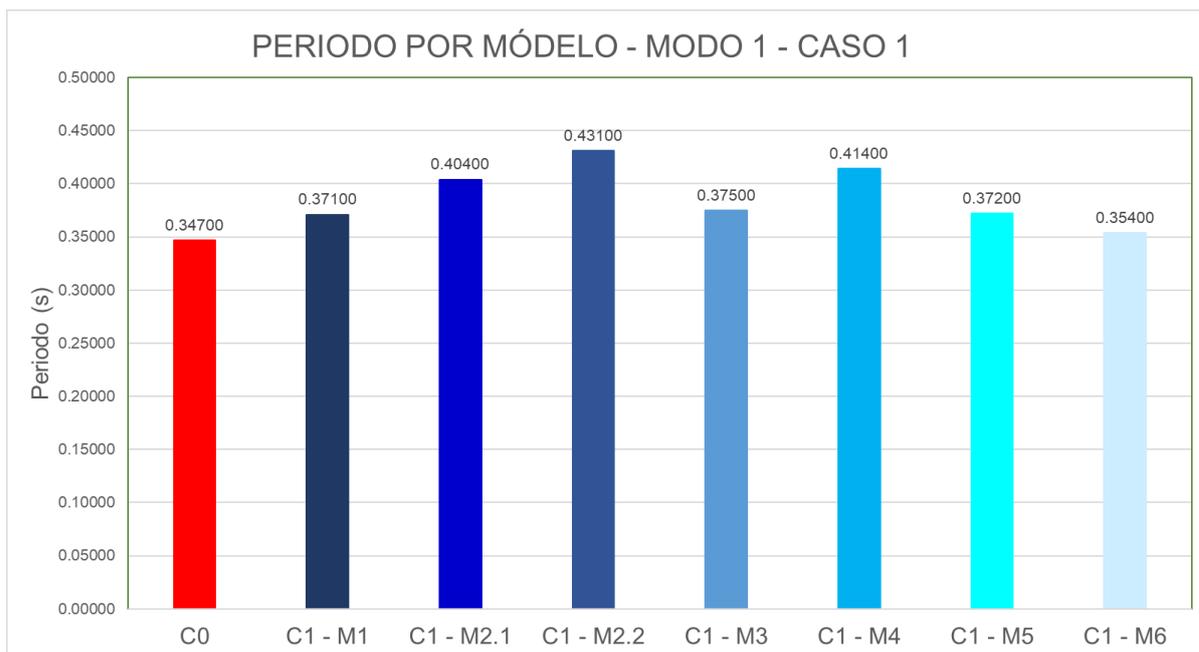


Figura 86: Periodo del primer modo de vibración de los modelos del caso 1

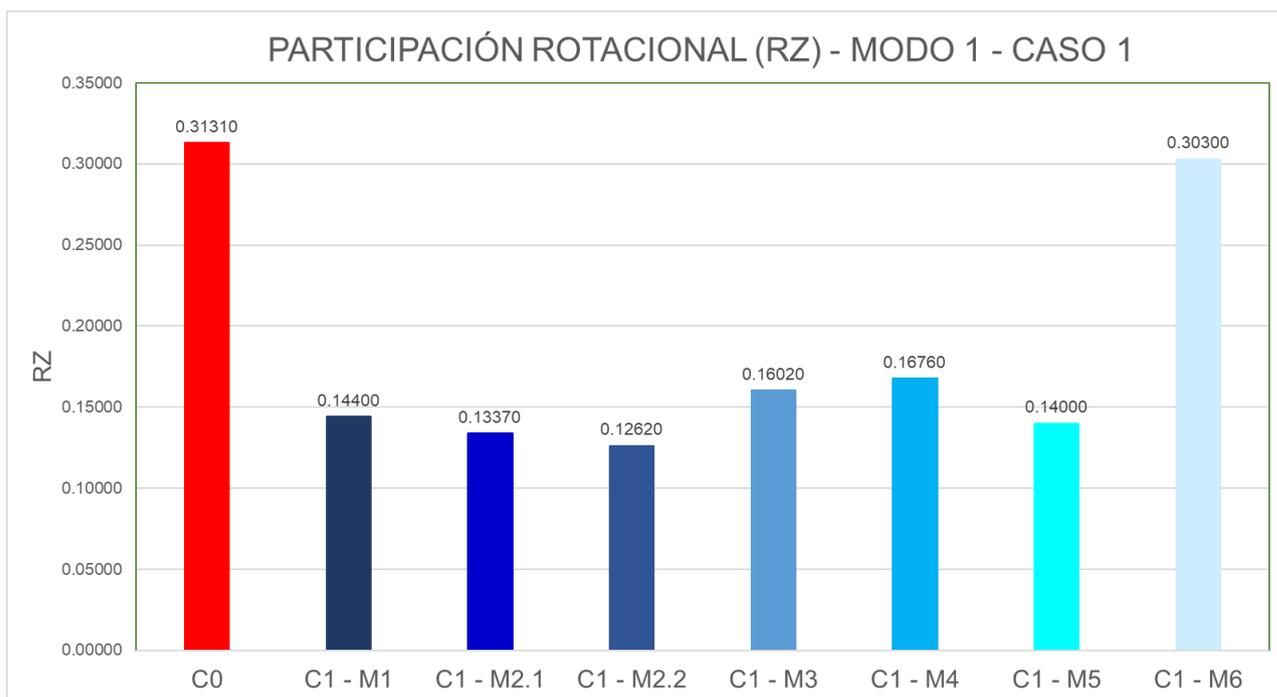


Figura 87: Participación de la masa en rotación del primer modo de vibración para los modelos del Caso 1

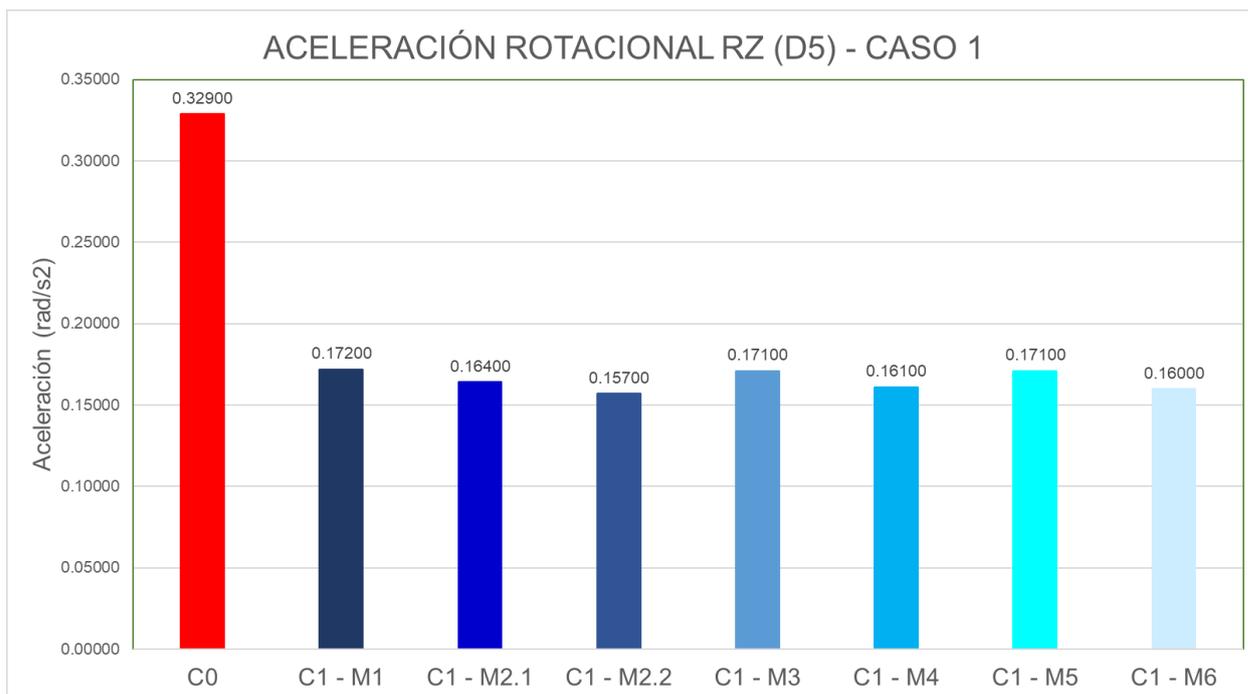


Figura 88: Aceleración rotacional Rz del diafragma del 5 nivel de los modelos de Caso 1

Con respecto al tiempo historia del modelo lineal se obtuvo para el caso 4 como varían las aceleraciones con respecto al tiempo. En las figuras continuas se observa la comparación del caso 0 con el modelo más favorable (C4M5) y desfavorable (C4M1) del caso 4.

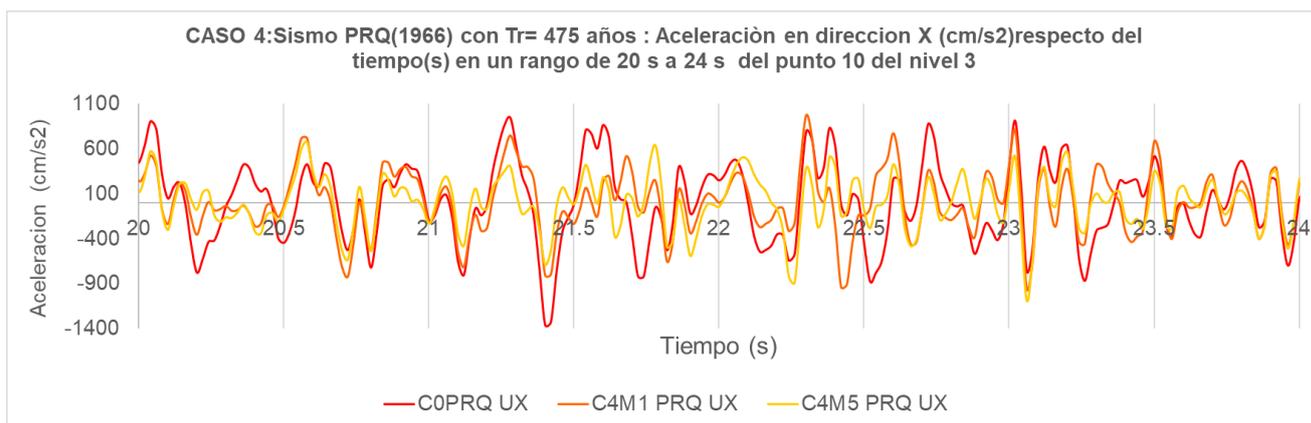


Figura 89 CASO 4: Sismo PRQ(1966) con  $T_r = 475$  años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo (s) en un rango de 20 s a 24 s del punto 10 del nivel 3

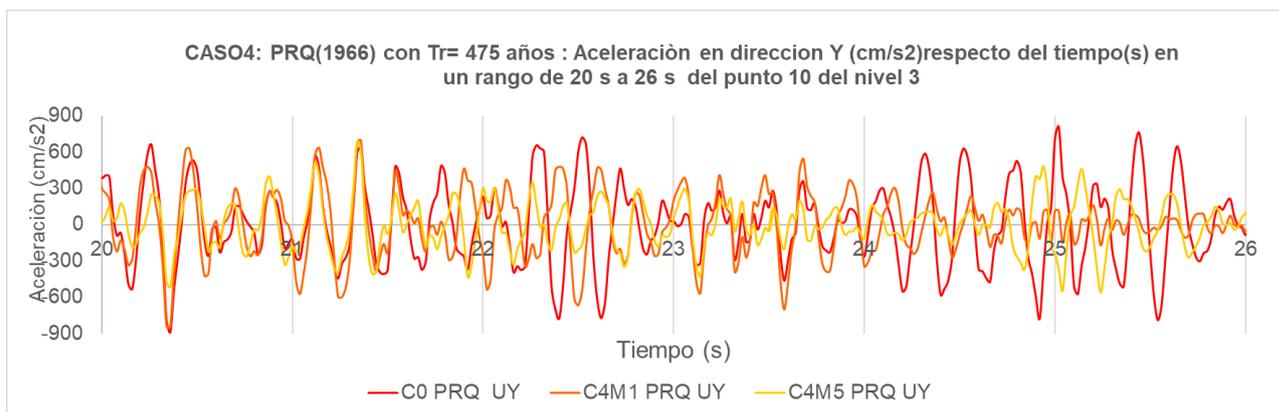


Figura 90 CASO4: PRQ(1966) con  $T_r= 475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 26 s del punto 10 del nivel 3

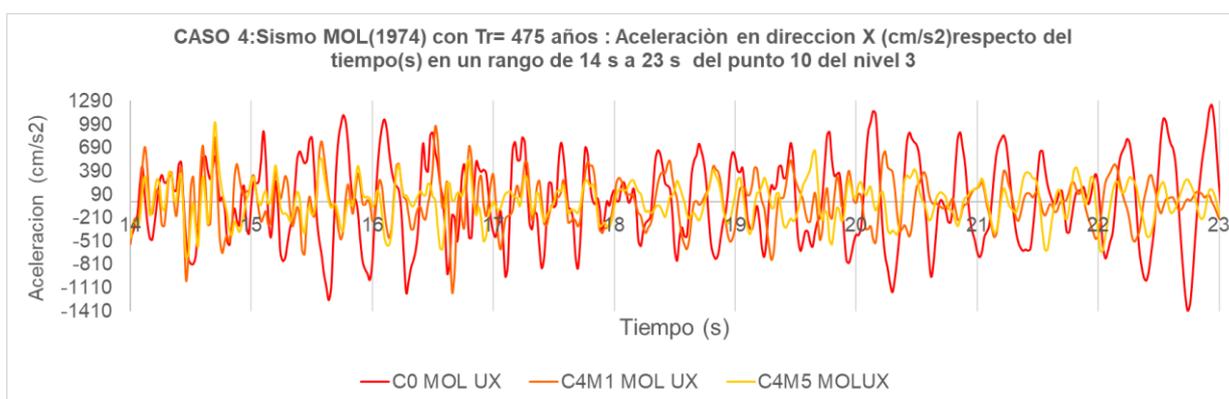


Figura 91 CASO 4:Sismo MOL(1974) con  $T_r= 475$  años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 14 s a 23 s del punto 10 del nivel 3

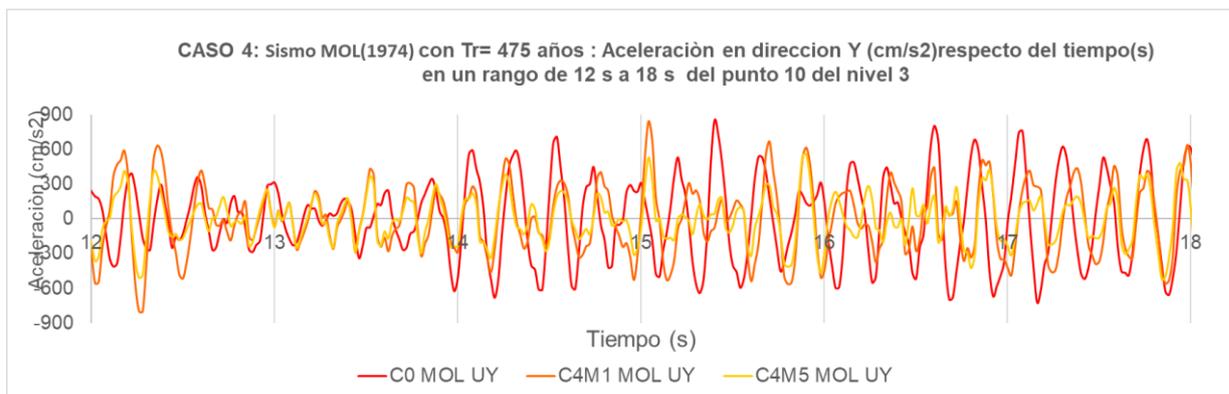


Figura 92 CASO 4: Sismo MOL(1974) con  $T_r= 475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 12 s a 18 s del punto 10 del nivel 3

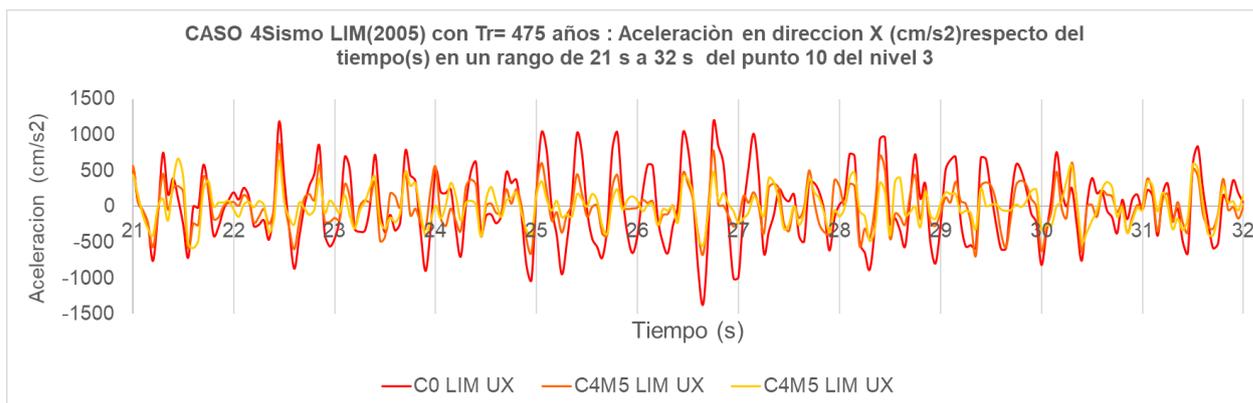


Figura 93 CASO 4Sismo LIM(2005) con  $T_r= 475$  años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 21 s a 32 s del punto 10 del nivel 3

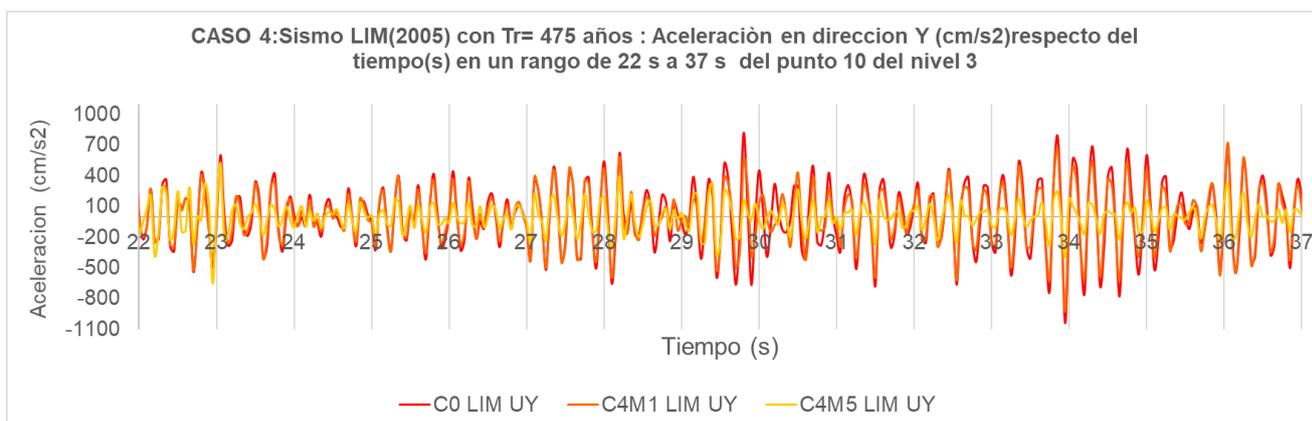


Figura 94 CASO 4:Sismo LIM(2005) con  $T_r= 475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 22 s a 37 s del punto 10 del nivel 3

#### 4.2.5. Análisis de la estructura de estudio con 4 AMS subdivididos a distancias

##### aleatorias de los ejes centroides en dirección x e y (Caso 5)

Para el caso de estudio se desarrollará 7 modelos (Tabla 5) donde divergen la variación de las masas y la ubicación de la masa. Se detallará el porcentaje de la masa colocada en cada dispositivo y los coeficientes de amortiguamiento para cada modelo de análisis para cada modelo.

Además de los resultados obtenidos para cada variable desarrollada mostrando una comparación de los modelos de este caso.

Tabla 69: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M1

C2 - M1		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	Tn
IZQUIERDA		
0.58%		
Pd 1	7855.626	kg
Pd 1	7.856	Tn
md 1	800.777	kgxs2/m
K Total 1	262550.338	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	5799.922	kg/m
K1	65637.584	kg/m
C1	1449.981	kg/m
DERECHA		
0.42%		
Pd 2	5611.161	kg
Pd 2	5.611	Tn
md 2	571.984	kgxs2/m
K Total 2	187535.955	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	4142.802	kg/m
K2	46883.989	kg/m
C2	1035.700	kg/m

Tabla 70: Dimensiones del AMS – C2M1

Losas de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	6.000	m
e1	7.793	cm
Losas de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	6.000	m
e2	7.793	cm

Tabla 71: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M2

C2 - M2		
5%		
Pd total	67333.938	kg

Pd total	67.334	Tn
IZQUIERDA		
2.92%		
Pd 1	39278.130	kg
Pd 1	39.278	Tn
md 1	4003.887	kgxs2/m
K Total 1	1312751.688	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	28999.612	kg/m
K1	328187.922	kg/m
C1	7249.903	kg/m
DERECHA		
2.08%		
Pd 2	28055.807	kg
Pd 2	28.056	Tn
md 2	2859.919	kgxs2/m
K Total 2	937679.777	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	20714.008	kg/m
K2	234419.944	kg/m
C2	5178.502	kg/m

Tabla 72: Dimensiones del AMS – C2M2

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	6.000	m
e1	38.966	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	6.000	m
e2	38.966	cm

Tabla 73: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M7

C2 - M7		
10%		
Pd total	134667.875	kg
Pd total	134.668	Tn
IZQUIERDA		
5.83%		
Pd 1	78556.260	kg

Pd 1	78.556	Tn
md 1	8007.774	kgxs2/m
K Total 1	2625503.375	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	57999.223	kg/m
K1	656375.844	kg/m
C1	14499.806	kg/m
DERECHA		
4.17%		
Pd 2	56111.615	kg
Pd 2	56.112	Tn
md 2	5719.838	kgxs2/m
K Total 2	1875359.554	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	41428.017	kg/m
K2	468839.888	kg/m
C2	10357.004	kg/m

Tabla 74: Dimensiones del AMS – C2M7

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	6.000	m
e1	77.933	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	6.000	m
e2	77.933	cm

Tabla 75: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M3

C2 - M3		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	Tn
IZQUIERDA		
0.58%		
Pd 1	7855.626	kg
Pd 1	7.856	Tn
md 1	800.777	kgxs2/m
K Total 1	262550.338	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	5799.922	kg/m

K1	65637.584	kg/m
C1	1449.981	kg/m
DERECHA		
0.42%		
Pd 2	5611.161	kg
Pd 2	5.611	Tn
md 2	571.984	kgxs2/m
K Total 2	187535.955	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	4142.802	kg/m
K2	46883.989	kg/m
C2	1035.700	kg/m

Tabla 76: Dimensiones del AMS – C2M3

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	4.500	m
e1	10.391	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	4.500	m
e2	10.391	cm

Tabla 77: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M4

C2 - M4		
5%		
Pd total	67333.938	kg
Pd total	67.334	Tn
IZQUIERDA		
2.92%		
Pd 1	39278.130	kg
Pd 1	39.278	Tn
md 1	4003.887	kgxs2/m
K Total 1	1312751.688	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	28999.612	kg/m
K1	328187.922	kg/m
C1	7249.903	kg/m
DERECHA		

2.08%		
Pd 2	28055.807	kg
Pd 2	28.056	Tn
md 2	2859.919	kgxs2/m
K Total 2	937679.777	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	20714.008	kg/m
K2	234419.944	kg/m
C2	5178.502	kg/m

Tabla 78: Dimensiones del AMS – C2M4

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	4.500	m
e1	51.955	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	4.500	m
e2	51.955	cm

Tabla 79: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M5

C2 - M5		
1%		
Pd total	13466.788	kg
Pd total	13.467	Tn
IZQUIERDA		
0.58%		
Pd 1	7855.626	kg
Pd 1	7.856	Tn
md 1	800.777	kgxs2/m
K Total 1	262550.338	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	5799.922	kg/m
K1	65637.584	kg/m
C1	1449.981	kg/m
DERECHA		
0.42%		
Pd 2	5611.161	kg
Pd 2	5.611	Tn
md 2	571.984	kgxs2/m

K Total 2	187535.955	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	4142.802	kg/m
K2	46883.989	kg/m
C2	1035.700	kg/m

Tabla 80: Dimensiones del AMS – C2M5

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	5.000	m
e1	9.352	cm
Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	5.000	m
e2	9.352	cm

Tabla 81: Parámetros Óptimos del AMS – C2 – M6

C2 - M6		
5%		
Pd total	67333.938	kg
Pd total	67.334	Tn
IZQUIERDA		
2.92%		
Pd 1	39278.130	kg
Pd 1	39.278	Tn
md 1	4003.887	kgxs2/m
K Total 1	1312751.688	kg/m
ξ	20%	
C Total 1	28999.612	kg/m
K1	328187.922	kg/m
C1	7249.903	kg/m
DERECHA		
2.08%		
Pd 2	28055.807	kg
Pd 2	28.056	Tn
md 2	2859.919	kgxs2/m
K Total 2	937679.777	kg/m
ξ	20%	
C Total 2	20714.008	kg/m
K2	234419.944	kg/m

C2	5178.502	kg/m
----	----------	------

Tabla 82: Dimensiones del AMS – CIM5

Losa de concreto 1		
L1	7.000	m
B1	5.000	m
e1	46.760	cm

Losa de concreto 2		
L2	5.000	m
B2	5.000	m
e2	46.760	cm

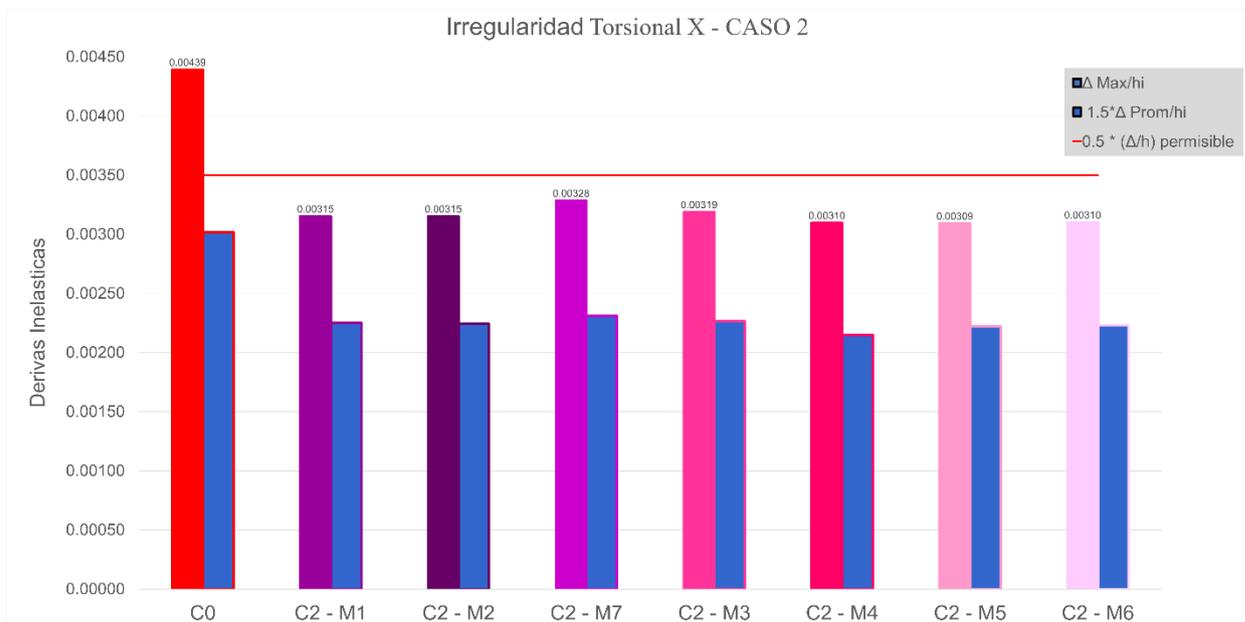


Figura 95: Irregularidad Torsional para los modelos de Caso 2

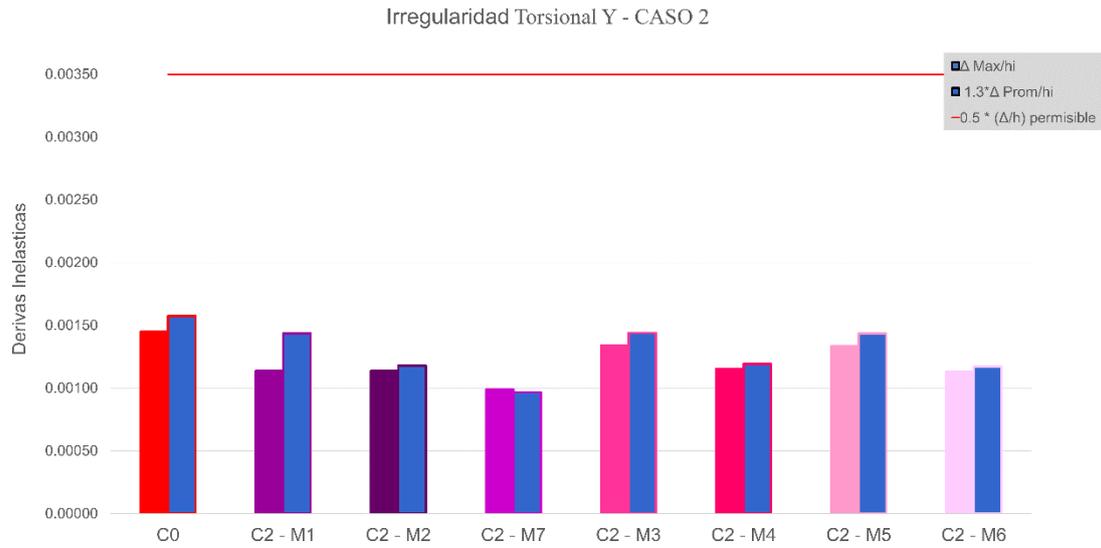


Figura 96: Irregularidad Torsional Y para modelos de caso 2

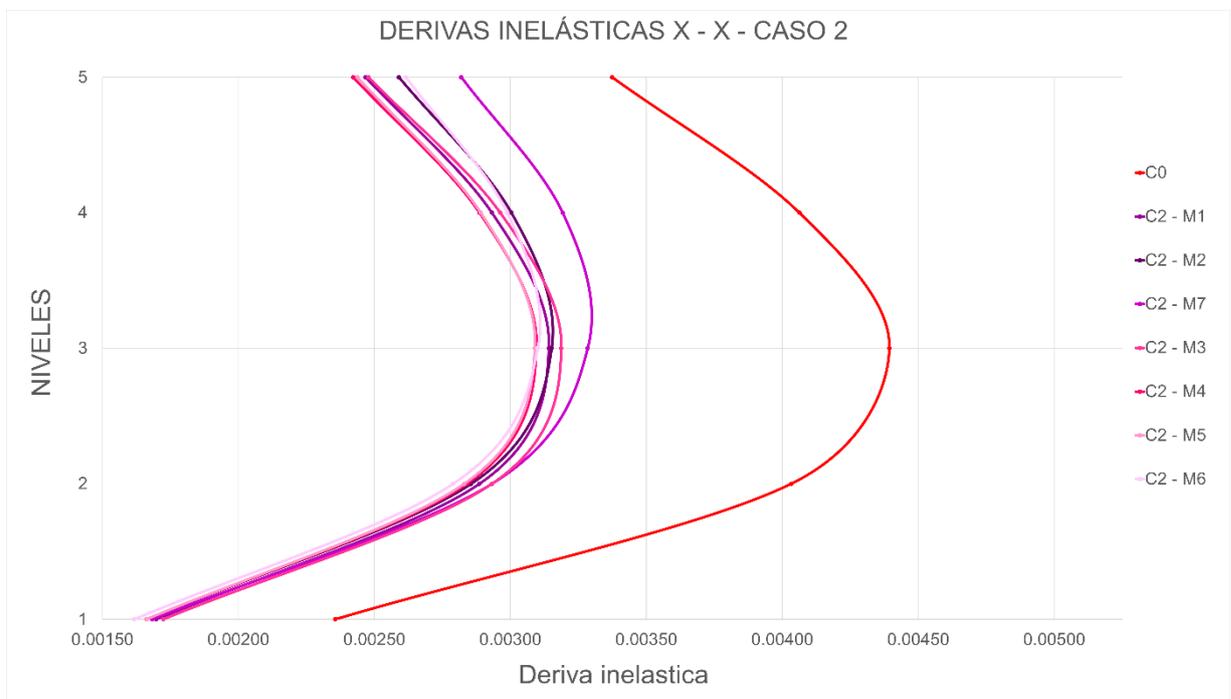


Figura 97: Derivas Inelásticas X - X de los modelos del caso I

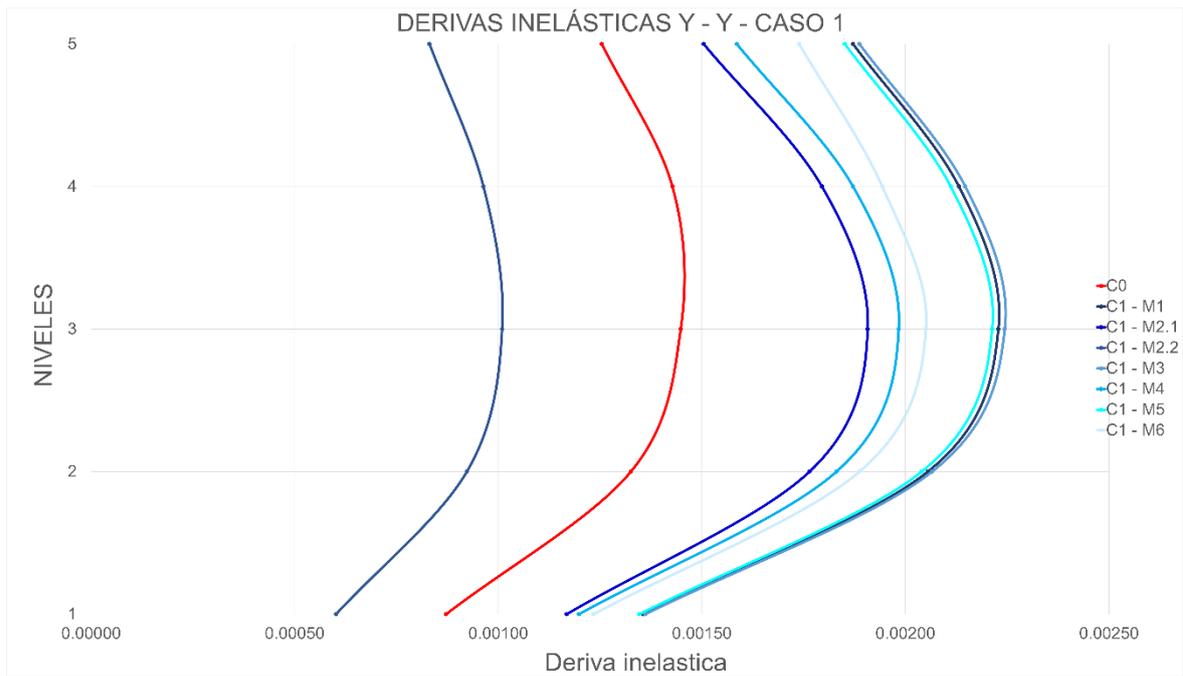


Figura 98: Derivas Inelásticas Y – Y de los modelos del caso 1

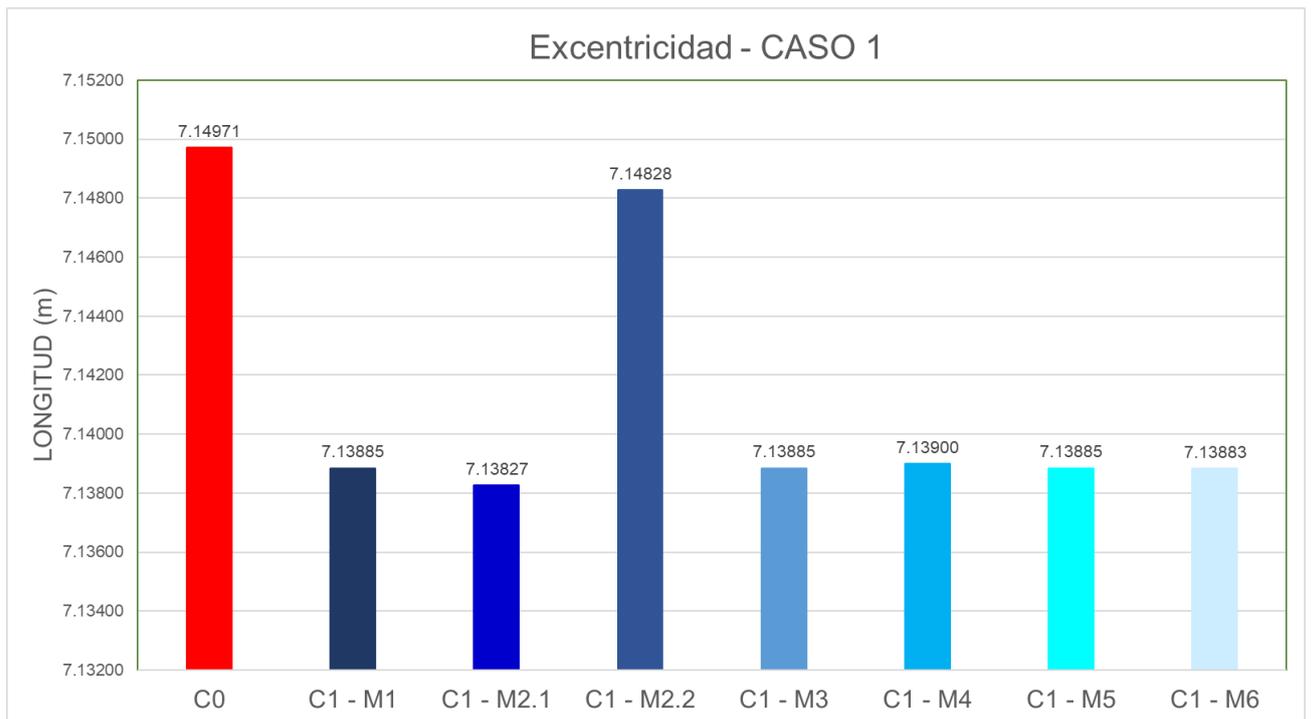


Figura 99: Excentricidad accidental de los modelos del Caso 1

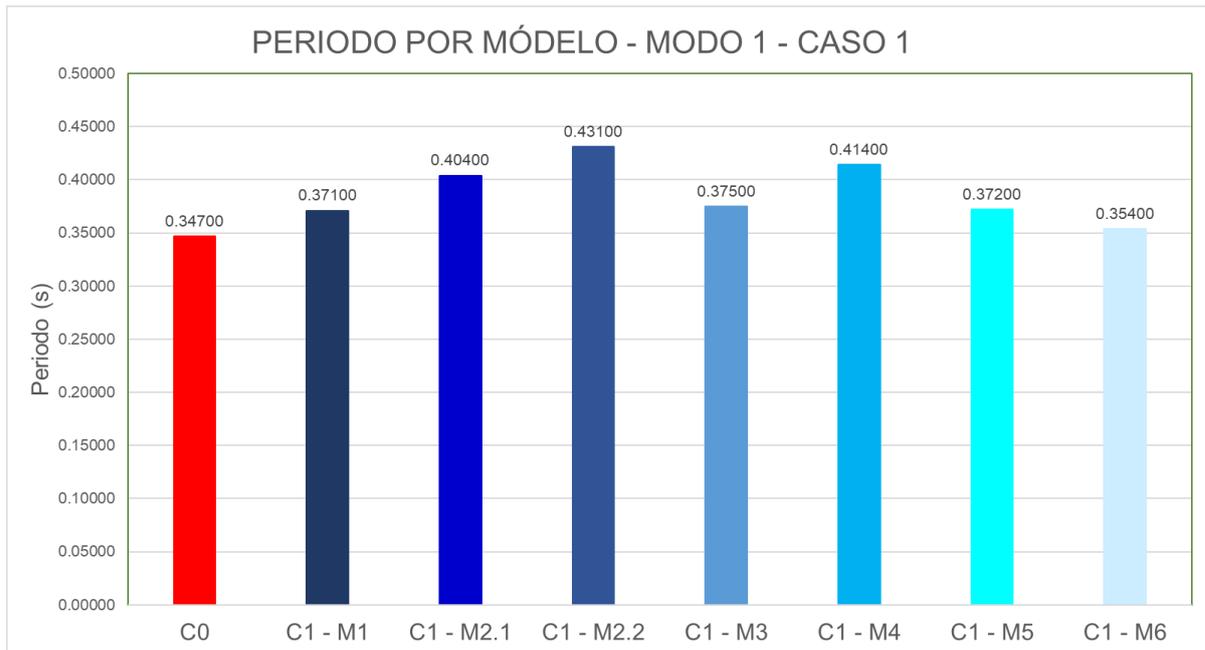


Figura 100: Periodo del primer modo de vibración de los modelos del caso 1

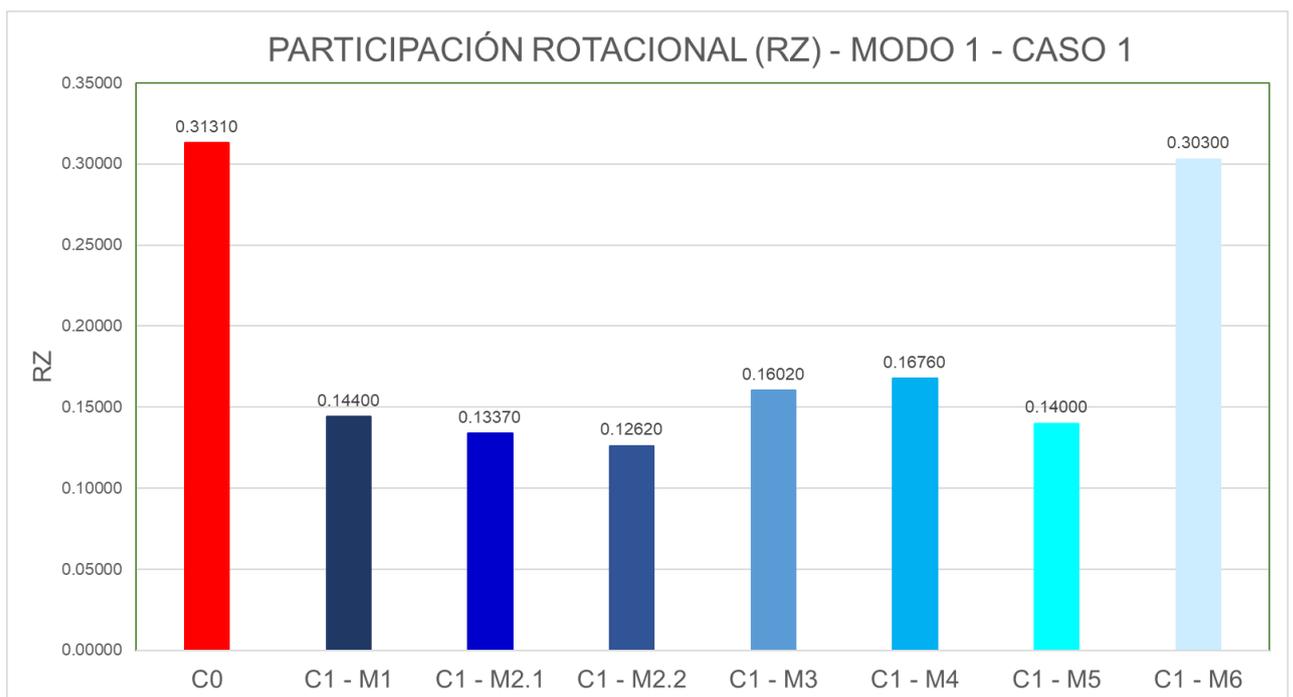


Figura 101: Participación de la masa en rotación del primer modo de vibración para los modelos del Caso 1

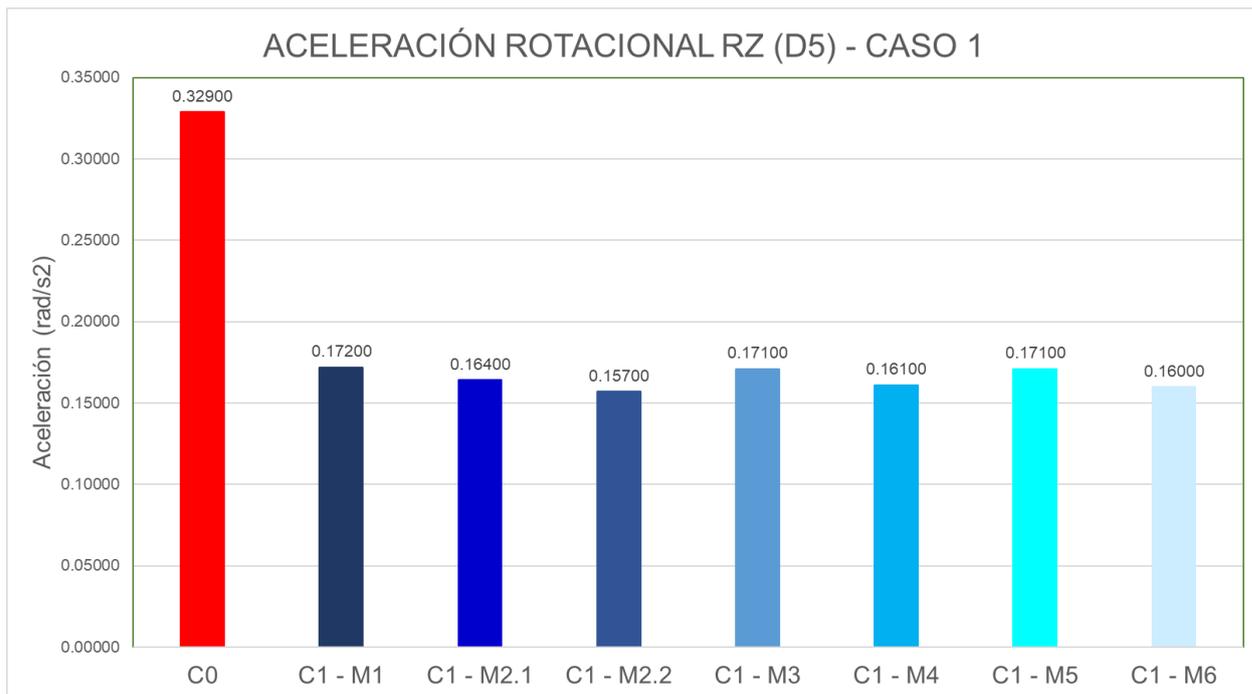


Figura 102: Aceleración rotacional Rz del diafragma del 5 nivel de los modelos de Caso 1

Con respecto al tiempo historia del modelo lineal se obtuvo para el caso 5 como varían las aceleraciones con respecto al tiempo. En las figuras continuas se observa la comparación del caso 0 con el modelo más favorable (C5M5) y desfavorable(C5M4) del caso 5.

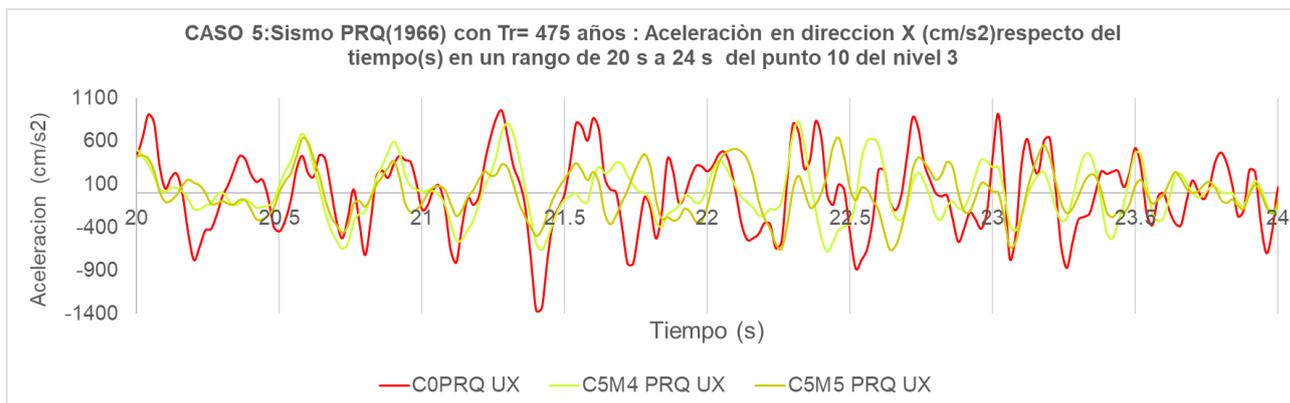


Figura 103 CASO 5: Sismo PRQ(1966) con Tr= 475 años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 24 s del punto 10 del nivel 3

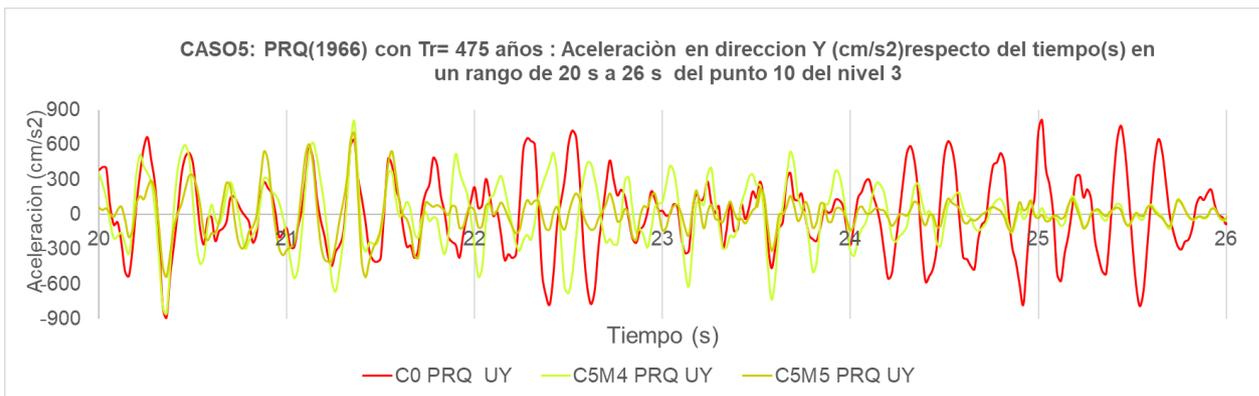


Figura 104 CASO5: PRQ(1966) con  $T_r = 475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 20 s a 26 s del punto 10 del nivel 3

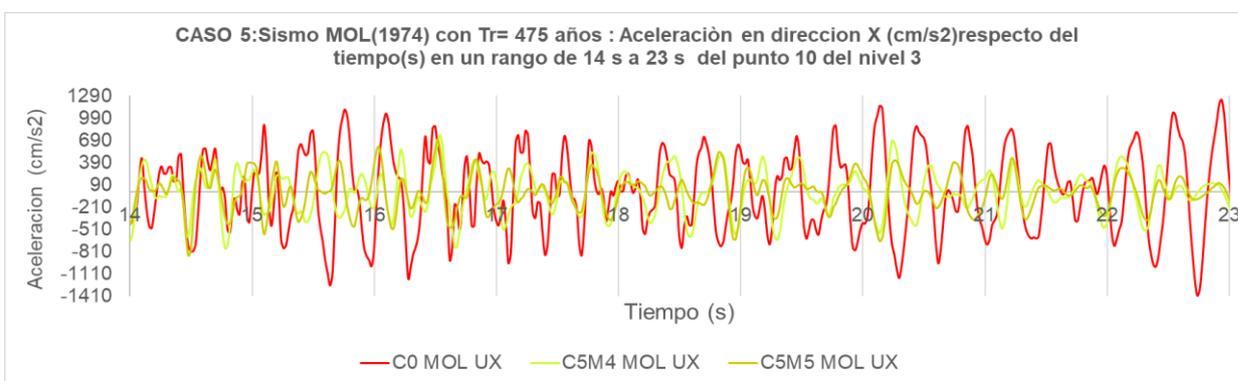


Figura 105 CASO 5: Sismo MOL(1974) con  $T_r = 475$  años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 14 s a 23 s del punto 10 del nivel 3

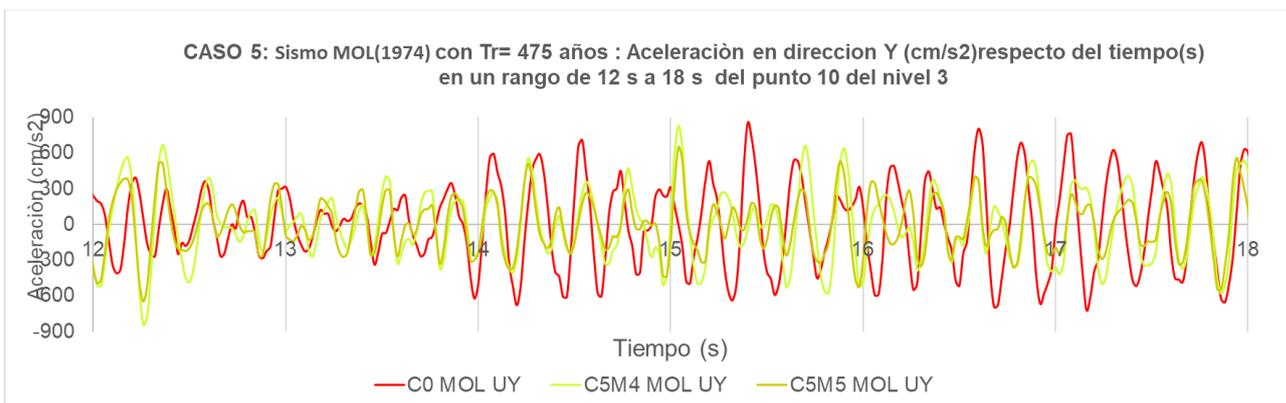
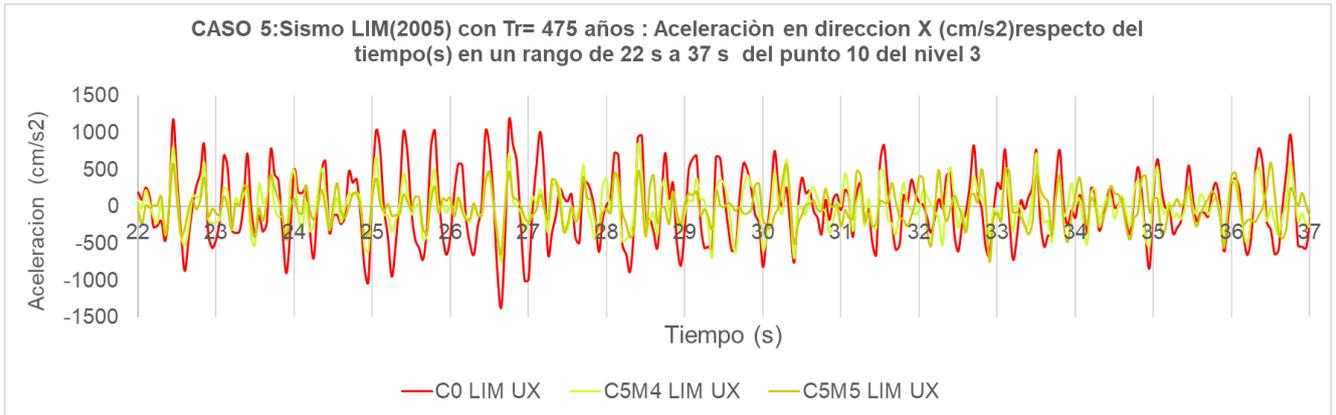
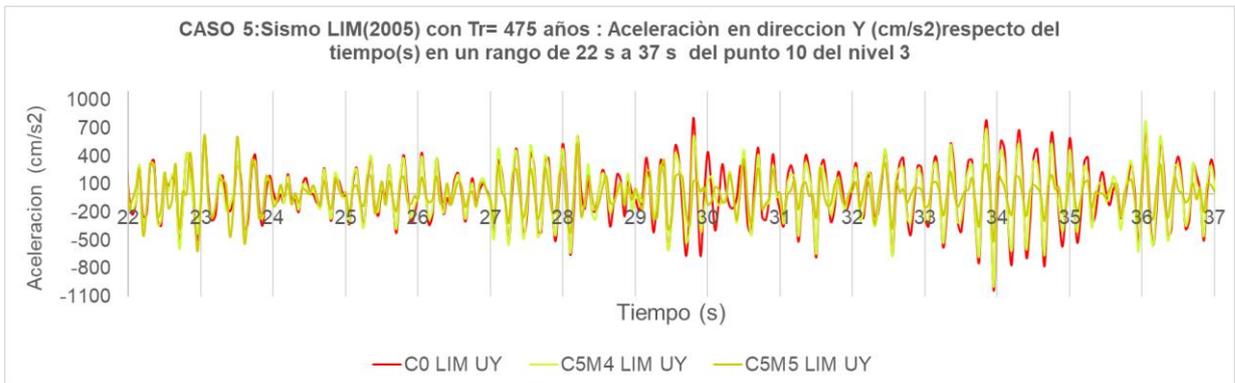


Figura 106 CASO 5: Sismo MOL(1974) con  $T_r = 475$  años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>) respecto del tiempo(s) en un rango de 12 s a 18 s del punto 10 del nivel 3



*Figura 107* CASO 5:Sismo LIM(2005) con Tr= 475 años : Aceleración en dirección X (cm/s<sup>2</sup>)respecto del tiempo(s) en un rango de 22 s a 37 s del punto 10 del nivel 3



*Figura 108* CASO 5:Sismo LIM(2005) con Tr= 475 años : Aceleración en dirección Y (cm/s<sup>2</sup>)respecto del tiempo(s) en un rango de 22 s a 37 s del punto 10 del nivel 3

## CAPITULO V: INTERPRETACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

### 5.1. Interpretación del análisis Modal Espectral:

De acuerdo a los casos analizados en el siguiente análisis se presentara las gráficas de los mejores y los peores resultados de cada caso de analisis

#### 5.1.1. Comparación de las derivas elásticas e inelásticas de los 5 casos de análisis:

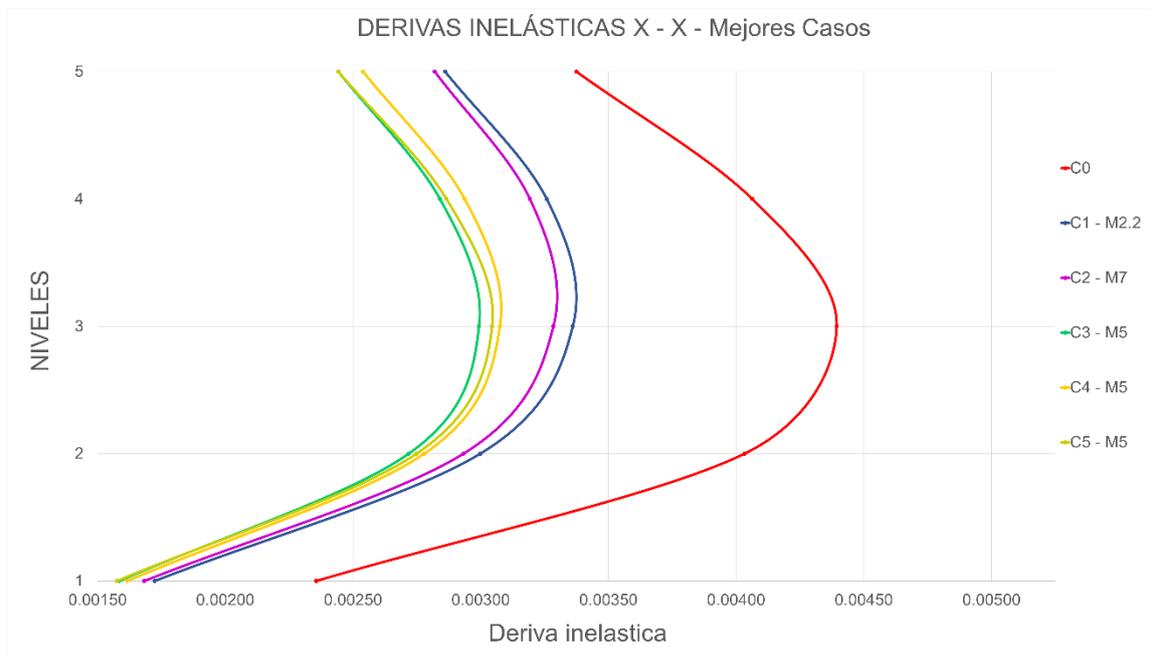


Figura 109: Mejores casos de las derivas inelásticas de los 5 casos de análisis comparado con el caso inicial

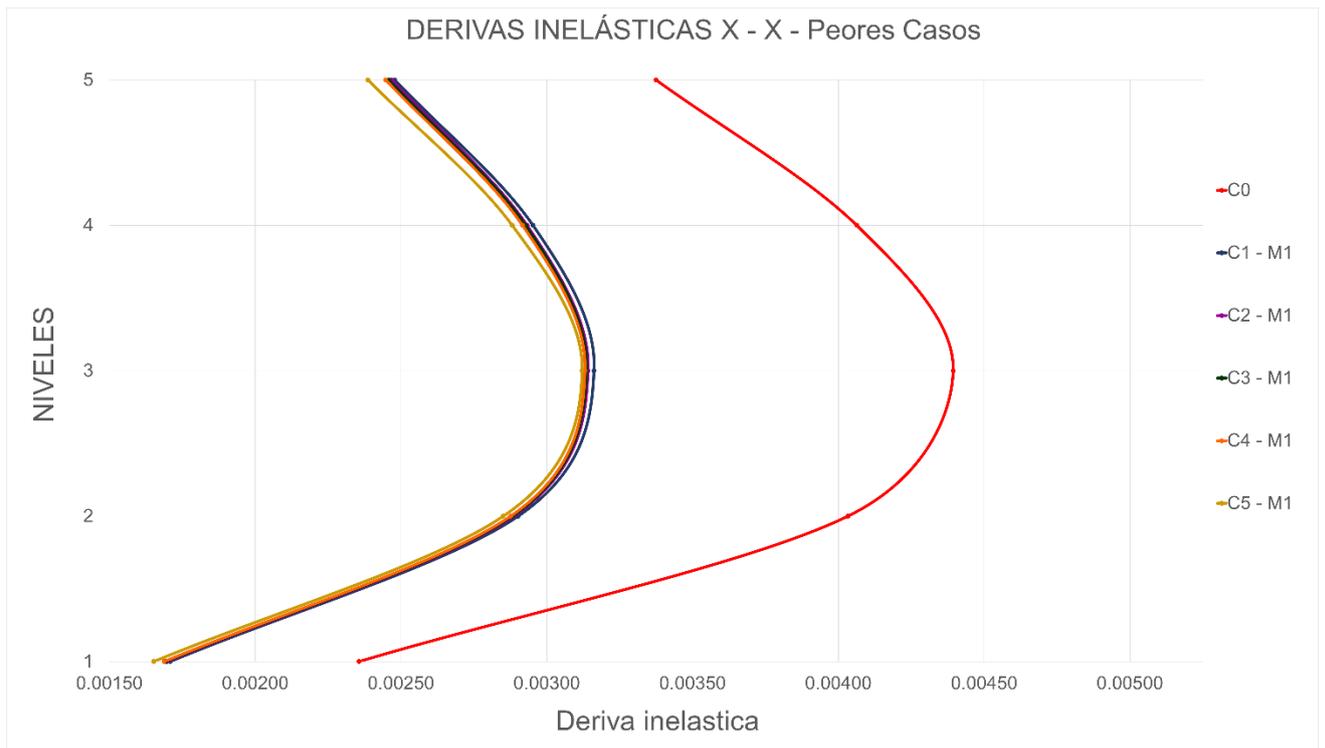


Figura 110: Peores casos de las derivas inelásticas de los 5 casos de análisis comparado con el caso inicial

### 5.1.2. Interpretación de la masa participativa en los modelos de vibración de los 5 casos de análisis

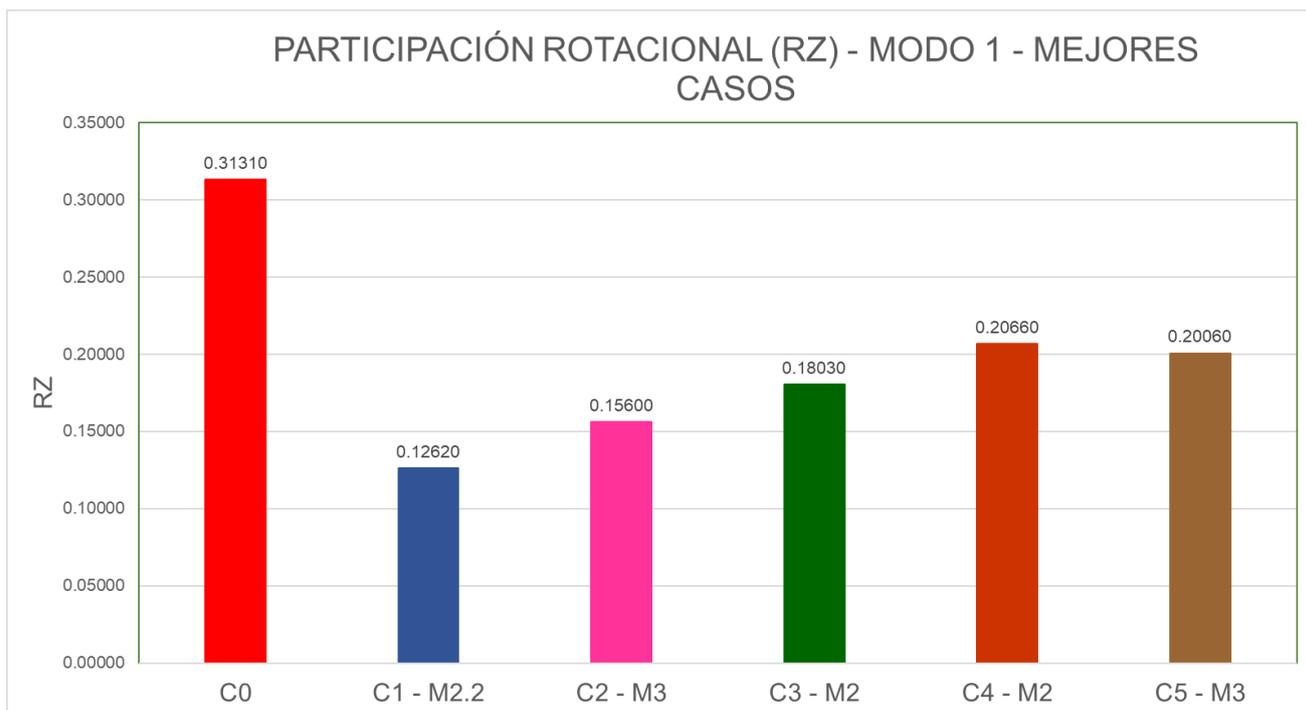


Figura 111: Mejores casos de masa participativa en rotación del primer modo de vibración

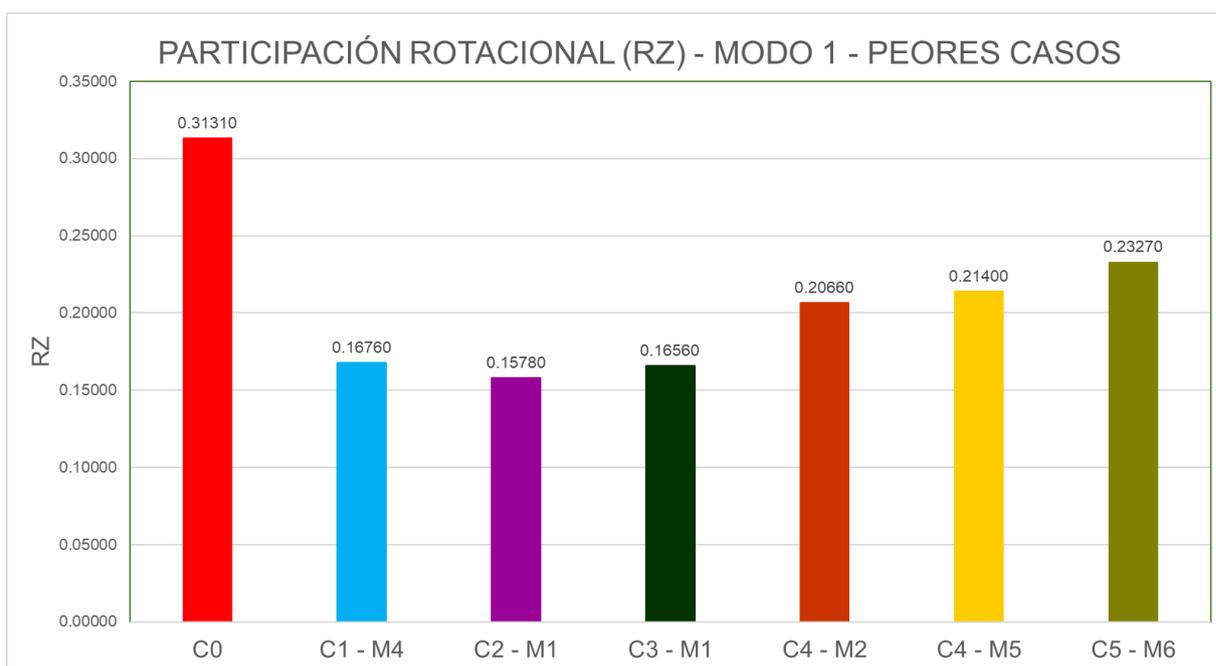


Figura 112: Peores casos de la masa participativa en rotacional en el primer modo de vibración

### 5.1.3. Interpretación del cambio de la excentricidad torsional en los 5 casos de análisis:

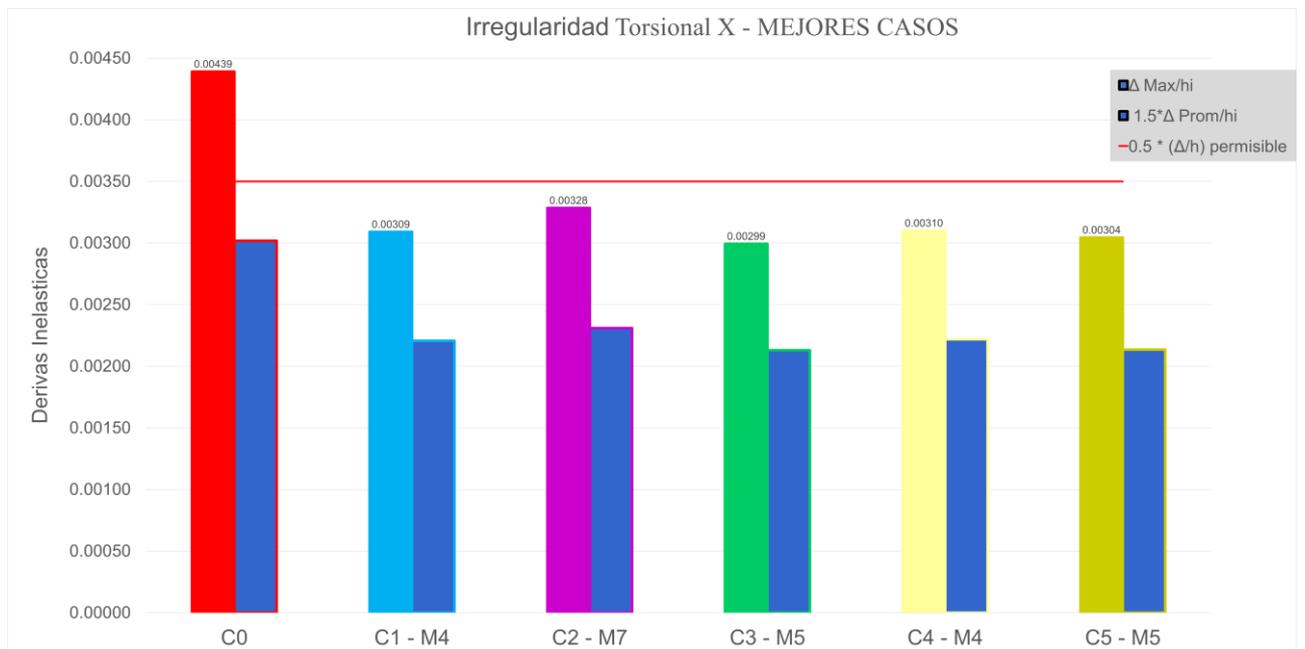


Figura 113: Mejores modelos de cada caso en la variación de la excentricidad torsional

### 5.1.4. Comparación de la excentricidad accidental en los 5 casos de análisis:

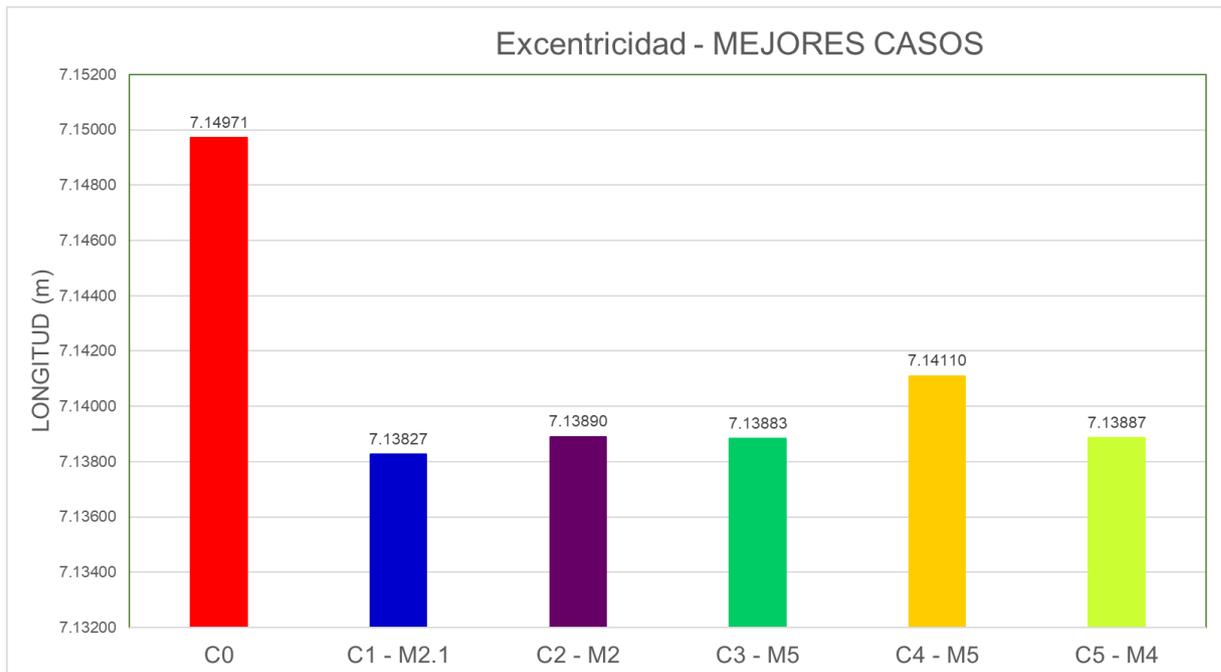


Figura 114: Comparación de la variación de la excentricidad accidental de los mejores resultados de los modelos de cada caso

## 5.2. Interpretación del Análisis Tiempo - Historia:

### 5.2.1. Interpretación del sismo de la estación parque de la reserva (1966)

Se presentan en la parte inferior el porcentaje de reducción en la columna 2 del nivel 3. Esto debido a que es el nivel donde mayores deformaciones se presenta. Cada grafica es comparada con el caso inicial C0.

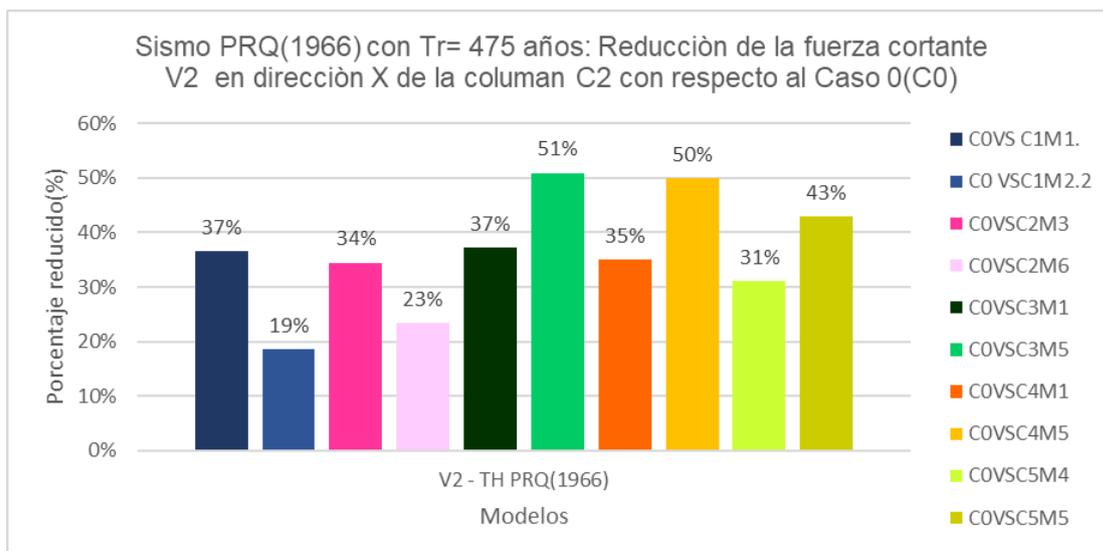


Figura 115 Sismo PRQ(1966) con  $T_r=475$  años: Reducción de la fuerza cortante  $V_2$  en dirección X de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0)

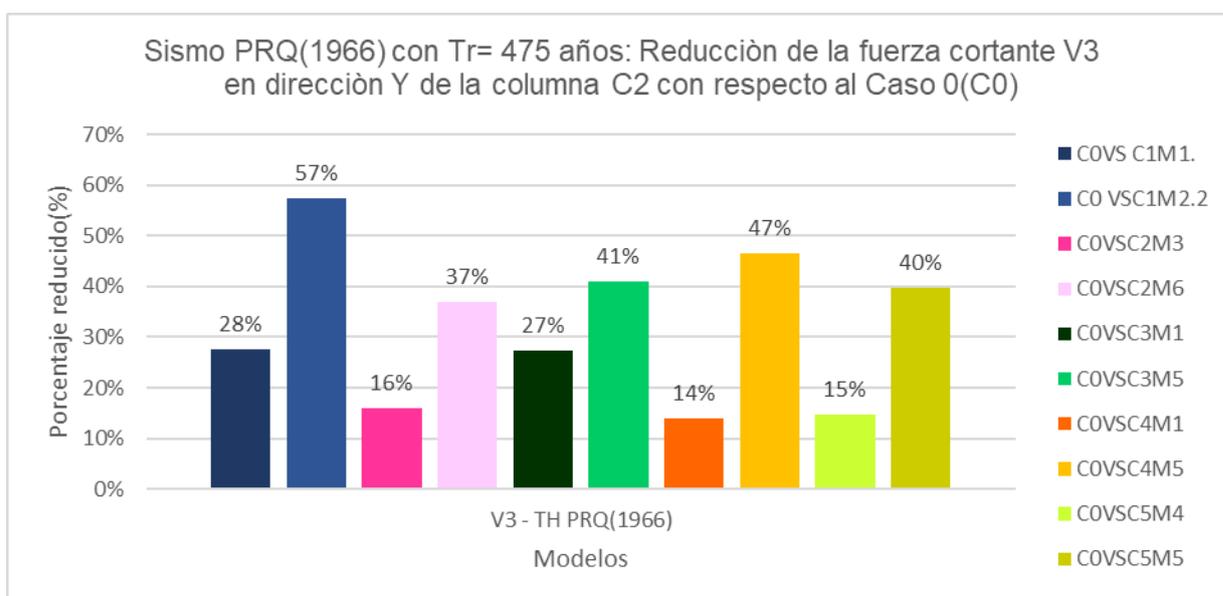
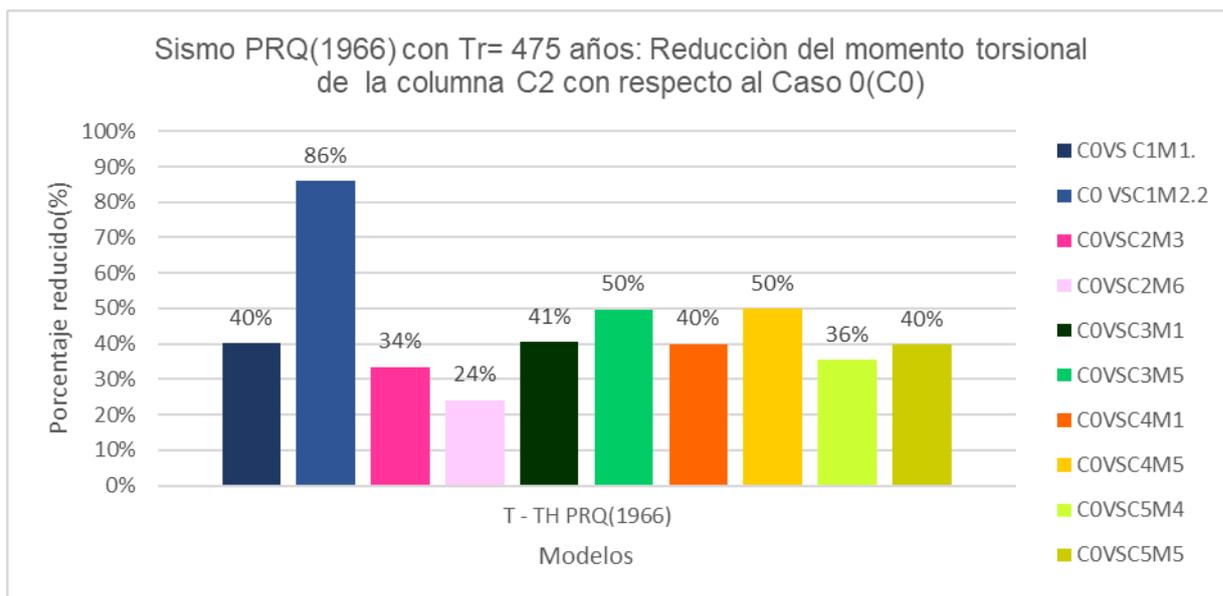


Figura 116 Sismo PRQ(1966) con  $T_r=475$  años: Reducción de la fuerza cortante  $V_3$  en dirección Y de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0)



*Figura 117* Sismo PRQ(1966) con  $T_r= 475$  años: Reducción del momento torsional de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0)

#### Interpretación:

Para el CASO1: En el elemento estructural columna 2 del nivel 3 se obtiene una reducción promedio en las cortantes y el momento torsional en 35% aproximadamente del caso C1M1 y 54 % para el caso C1M2.2.

Para el CASO2: En el elemento estructural columna 2 del nivel 3 se obtiene una reducción promedio en las cortantes y el momento torsional en 28% aproximadamente del caso C2M3 y 28 % para el caso C2M6

Para el CASO3: En el elemento estructural columna 2 del nivel 3 se obtiene una reducción promedio en las cortantes y el momento torsional en 35% aproximadamente del caso C3M1 y 48 % para el caso C3M5.

Para el CASO4: En el elemento estructural columna 2 del nivel 3 se obtiene una reducción promedio en las cortantes y el momento torsional en 30% aproximadamente del caso C4M1 y 50 % para el caso C4M5.

Para el CASO5: En el elemento estructural columna 2 del nivel 3 se obtiene una reducción promedio en las cortantes y el momento torsional en 28% aproximadamente del caso C4M4 y 40% para el caso C4M5.

### 5.2.2. Interpretación del sismo de la estación de la Molina (1974)

Se presentan en la parte inferior el porcentaje de reducción en la columna 2 del nivel 3.

Esto debido a que es el nivel donde mayores deformaciones se presenta. Cada grafica es comparada con el caso inicial C0.

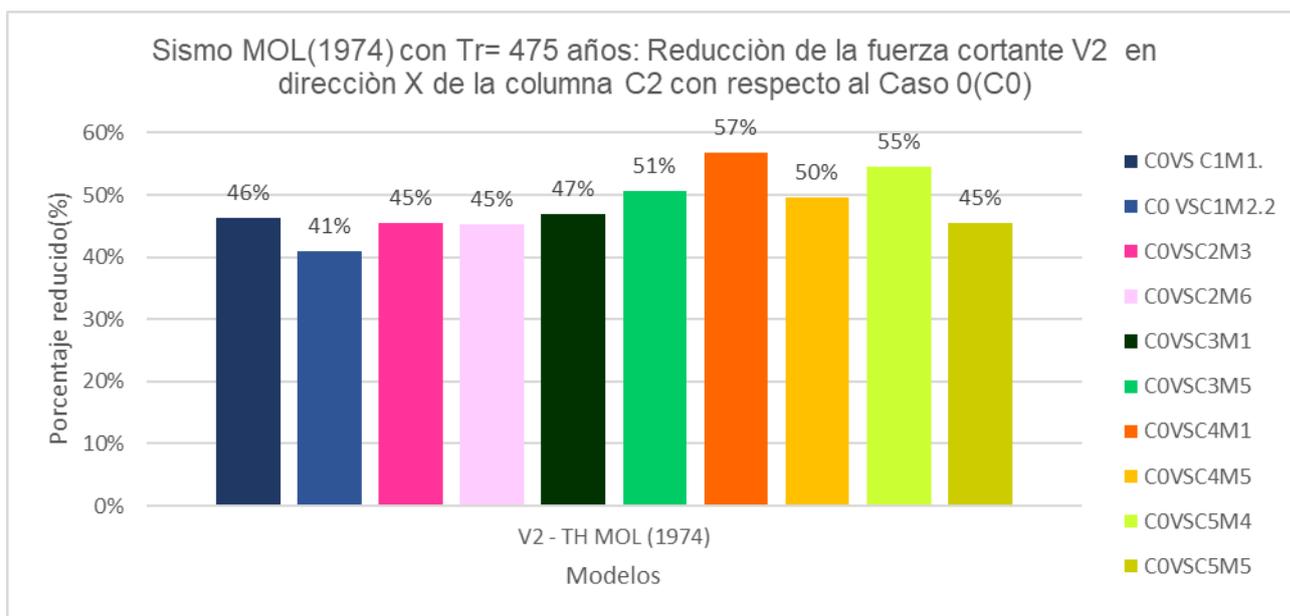


Figura 118 Sismo MOL(1974) con Tr= 475 años: Reducción de la fuerza cortante V2 en dirección X de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0)

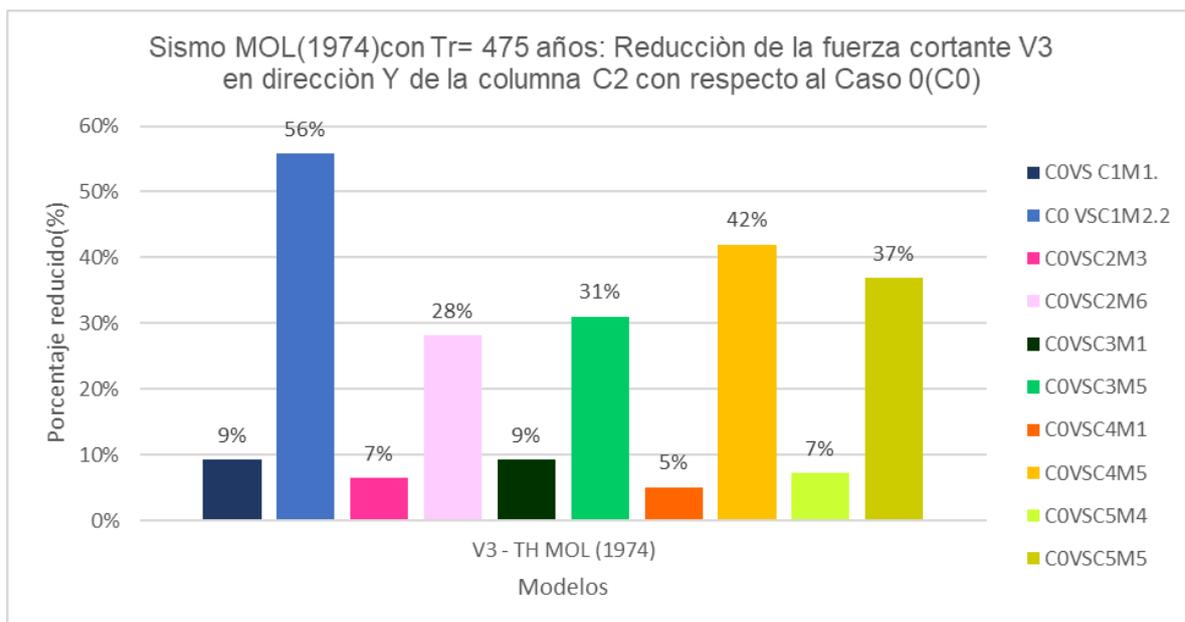


Figura 119 Sismo MOL(1974) con Tr= 475 años: Reducción de la fuerza cortante V3 en dirección Y de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0)

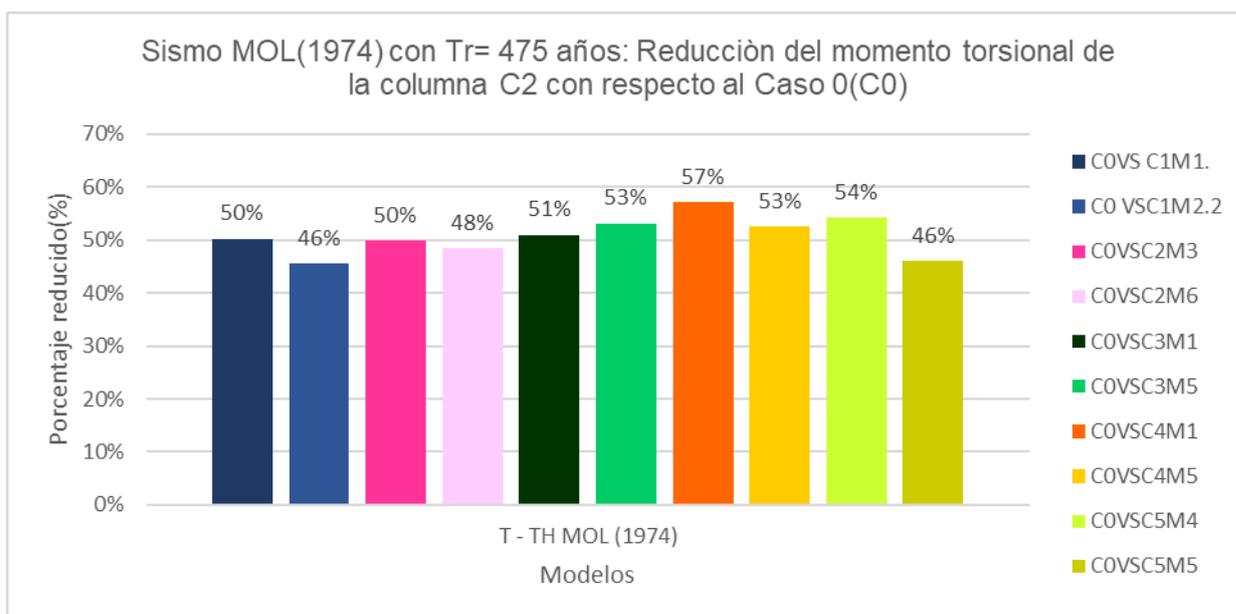


Figura 120 Sismo MOL(1974) con Tr= 475 años: Reducción del momento torsional de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0)

#### Interpretación:

Para el CASO1: En el elemento estructural columna 2 del nivel 3 se obtiene una reducción promedio en las cortantes y el momento torsional en 35% aproximadamente del caso C1M1 y 48 % para el caso C1M2.2.

Para el CASO2: En el elemento estructural columna 2 del nivel 3 se obtiene una reducción promedio en las cortantes y el momento torsional en 35 % aproximadamente del caso C2M3 y 41 % para el caso C2M6

Para el CASO3: En el elemento estructural columna 2 del nivel 3 se obtiene una reducción promedio en las cortantes y el momento torsional en 36% aproximadamente del caso C3M1 y 46 % para el caso C3M5.

Para el CASO4: En el elemento estructural columna 2 del nivel 3 se obtiene una reducción promedio en las cortantes y el momento torsional en 40% aproximadamente del caso C4M1 y 49 % para el caso C4M5.

Para el CASO5: En el elemento estructural columna 2 del nivel 3 se obtiene una reducción promedio en las cortantes y el momento torsional en 28% aproximadamente del caso C4M4 y 40% para el caso C4M5.

### 5.2.3. Interpretación del sismo de la estación Jorge Alva Hurtado (2005)

Se presentan en la parte inferior el porcentaje de reducción en la columna 2 del nivel 3.

Esto debido a que es el nivel donde mayores deformaciones se presenta. Cada grafica es comparada con el caso inicial C0.

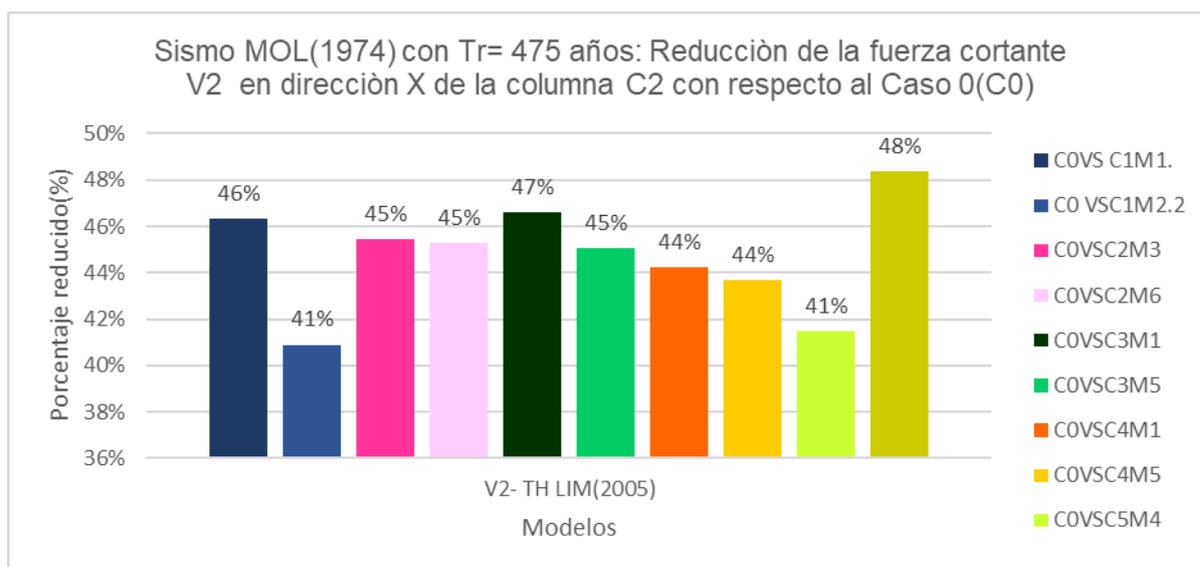


Figura 121 Sismo MOL(1974) con  $T_r = 475$  años: Reducción de la fuerza cortante V2 en dirección X de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0)

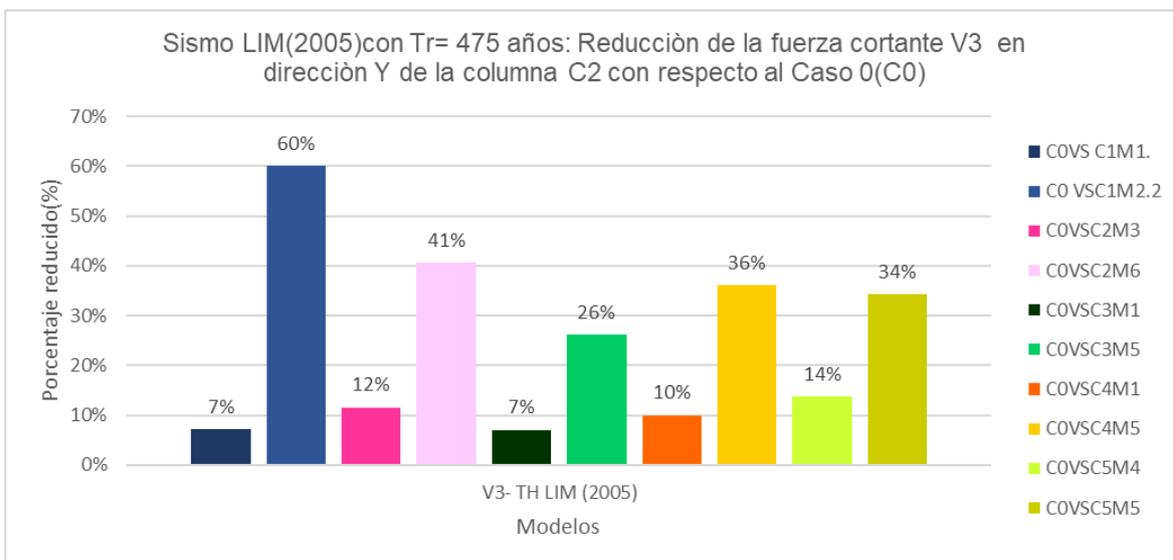


Figura 122 Sismo LIM(2005) con Tr= 475 años: Reducción de la fuerza cortante V3 en dirección Y de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0)

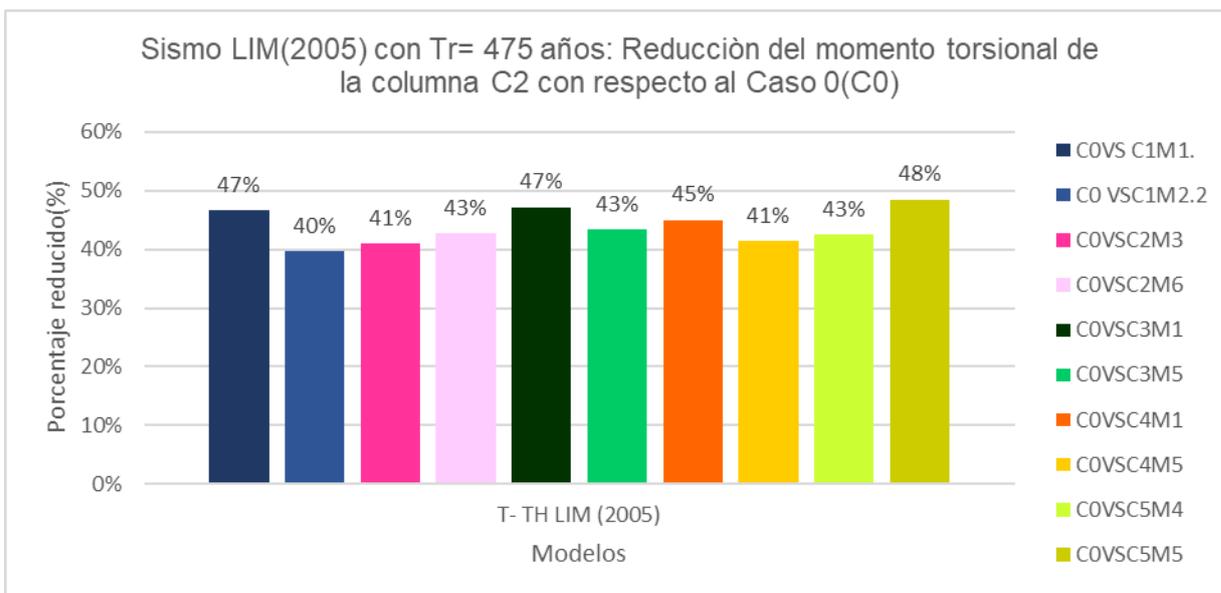


Figura 123 Sismo LIM(2005) con Tr= 475 años: Reducción del momento torsional de la columna C2 con respecto al Caso 0(C0)

## CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

De acuerdo con lo visto a lo largo de la tesis de investigación, el objeto era determinar cómo variaban las respuestas sísmicas ante el efecto torsional en distintas condiciones con el sistema de amortiguamiento de masa sintonizada. Para ello se desarrolló 5 casos de análisis para determinar la comparación de las alternancias y así determinar una óptima ubicación y distribución. Con todo este análisis podemos concluir:

- De acuerdo con la metodología del modelo simplificado, la propuesta de un modelo de 2 grados de libertad comparado con la propuesta de diseño, las respuestas tienen una variación de 3.55% respecto al periodo de análisis.
- En el desarrollo del primer caso de análisis la mejor respuesta se da con una masa concentrada en el centroide ,con una relación masa de 10% respecto a la masa de la estructura (C1M2.2), y de acuerdo a las variable de participación de la masa en rotacional se ve reducida en 59.69% y la aceleración rotacional 52.28%, lo cual indica que para los movimientos rotacionales se ve reducida en gran efecto, sin embargo este caso presenta una menor reducción en el factor de la excentricidad accidental (0.02%), lo cual indica que a mayor masa concentrada en una posición perjudicar a la estructura.
- De acuerdo con el desarrollo del primer caso de análisis, la estructura a menor porcentaje de masa concentrado en el centroide (C1M1), presenta un aumento pequeño del periodo, 6.92%; con una reducción considerable de la aceleración rotacional en un 47.72%, lo que indica, que a pesar de ser el resultado del C1 que presento menos cambios, brinda una reducción considerable en las variables de análisis.

- Según el desarrollo de los 5 casos de análisis los casos que tuvieron menores cambios son los de relación masa de 1%, sin embargo, esto no indica que no se haya reducido las variables de análisis para el modelo C2M5 el periodo del primer modo de vibración aumenta en 10.66%, lo cual indica que esta amortiguando la respuesta sísmica, y el porcentaje de masa participativa en rotación del primer modo de vibración se ve reducido en un 40.59%.
- Para los 5 casos de análisis el porcentaje de masa que tuvo mejores respuestas a comparación de los otros porcentajes fue el de 5%, ya que es un porcentaje tolerable para la estructura a no poder desfasar alguna variable. No obstante, estos casos no tuvieron las mejores respuestas si se evaluara solo por una variable, el efecto se ve ya que reduce en mayor porcentaje todas las variables de análisis y no solo atacando a una. El caso 5 Modelo 5 es el caso que tuvo mejores respuestas debido a la posición de sus 4 AMS en las esquinas, dando resultados de reducción de 59.57% en la aceleración rotacional además de reducir la masa participativa en 33.09%, y la excentricidad accidental reduciendo en 0.14%.
- Para los casos de 10% de los amortiguadores de masa sintonizada son las respuestas que divergen en una correcta ubicación de los AMS, ya que al presentar una mayor masa no logra cambiar la respuesta en comparación de los otros casos de diferentes porcentajes de masa. En este se encuentra el C2M7 que reduce los efectos en participación de la masa rotacional Rz en el primer modo de vibración en un 46.98% y reducir la excentricidad accidental en 0.15% para poder mitigar los daños de este efecto.
- En los 5 casos de análisis se puede determinar que al concentrar las masas en las esquinas más desfavorables se logra reducir en gran porcentaje las respuestas de acuerdo con el porcentaje proporcionado de la estructura (5%). En el C4M5 se

presenta dicha acotación donde las respuestas mejoraron, en la excentricidad accidental reduciéndola en 0.12%, no obstante, la masa al colocarla en las esquinas no desfavorables perjudica la respuesta, aumentando la excentricidad en 0.23%, lo cual indica que no es recomendable colocar las masas en las esquinas menos desfavorables.

- Colocar la masa concentrada en el centro de masa aumenta significativamente las respuestas en la masa participativa en rotacional en el primer modo de vibración, ya que estas se ven reducidas en 54.01%, 57.30% y 59.69% para porcentajes de masa de 1%, 5% y 10%, no obstante, al colocar la masa en una dirección opuesta al centro de rigidez no reduce en gran porcentaje dicha variable 3.23% (C1-M6).
- De acuerdo la excentricidad accidental al colocar una masa concentrada en el centro de masa puede aumentar drásticamente dependiendo del porcentaje de la masa; para 1% reduce 0.15%, para 5% reduce en 0.16% y para 10% reduce en 0.02%; debido que al concentrar mayor masa en un punto, porque al concentrar la masa en el centro de dicha perjudica en el cambio de excentricidad, lo que lleva a que el centro de rigidez se vea afectado.
- Cabe resaltar que, de acuerdo a los criterios ingenieriles para diseño, se evalúa las fuerzas cortantes, y se encontró una reducción de la columna 2 del C5M5 en un 40.59% por el sismo de la estación PRQ respecto al C0. Por ello es muy recomendable utilizar este sistema de control ya que no solo reduce los desplazamientos sino reduce las fuerzas internas de los elementos.

## 6.2. RECOMENDACIONES

- Se sugiere que, para reducir los espesores de la masa del dispositivo, utilizar una masa de concreto con un núcleo de plomo, ya que el comportamiento es similar, pero al presentar mayor peso específico reduce el espesor de las losas colocadas.
- Se sugiere a investigaciones posteriores ver la variación de colocar las masas en las esquinas y su efecto en la excentricidad accidental.
- Se sugiere evaluar dichas pautas en edificaciones de mayor área de trabajo para un desarrollo considerable.

## REFERENCIAS

- Anajafi, H., & Medina, R. A. (2018). Comparison of the seismic performance of a partial mass isolation technique with conventional TMD and base-isolation systems under broadband and narrow-band excitations. *Engineering Structures*, 158(March 2017), 110–123. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.12.018>
- Etedali, S., & Rakhshani, H. (2018). Optimum design of tuned mass dampers using multi-objective cuckoo search for buildings under seismic excitations. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 3205–3218. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.01.009>
- Shrivastava, M. N., González, G., Moreno, M., Soto, H., Schurr, B., Salazar, P., & Báez, J. C. (2019). Earthquake segmentation in northern Chile correlates with curved plate geometry. *Scientific Reports*, 9(1), 4403. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40282-6>
- Cotacallapa, R. (2017). *Análisis de un edificio asimétrico de 10 niveles de concreto armado con amortiguadores de masa sintonizada (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de San Agustín, Perú.
- Genatios & Lafuente (2016). *Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructura*. Santiago de Chile, Chile, CAF-Banco de Desarrollo de América Latina.
- Tagawa, H., Yamanishi, T., Takaki, A., & Chan, R. W. K. (2016). Cyclic behavior of seesaw energy dissipation system with steel slit dampers. *Journal of Constructional Steel Research*, 117, 24–34.
- Institución Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2018. *Número de terremotos registrados a nivel mundial desde el año 2000 al 2017*
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), 2017. *Población Censada, según departamento*

Aguilar Chuquimia, Henry Antonio (2019). Respuesta torsional de edificios sísmicamente aislados en el Perú. Comparación de métodos estáticos y dinámicos (**Tesis** de postgrado). Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), Lima.

Encarnacion Varillas, Luz Mary (2017). Vulnerabilidad sísmica de los sistemas de impulsión de agua potable en el distrito de Puente Piedra en el 2017(**Tesis** de pregrado). Universidad César Vallejo (UCV), Lima.

Herrera, R., Vielma, J & Pujades, L (2015) *Metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificios: un estado del conocimiento, Lima y Perú.*

Rashidi, A., Majid, TA, Fadzli, MN, Faisal, A., y Noor, SM (2017). A comprehensive study on the influence of strength and stiffness eccentricities to the on-plan rotation of asymmetric structure, *AIP Conference Proceedings 1892, 120013* <https://doi.org/10.1063/1.5005754>

BOZZO, L.; A. BARBAT. 2000. Diseño sismorresistente de edificios. Editorial Reverté. (Original no consultado, citado por: Stuardi, J. E.; J.C. Massa; J.F. Giró 2006. Modificación estructural de edificios para evitar problemas vibratorios que afectan el funcionamiento de equipos de medición de alta tecnología. *Mecánica Computacional*. Santa Fe. Argentina. 25: 1615-1631)

Aliante, E (2009). “Control de efectos torsionales en un edificio asimétrico de hormigón armado con amortiguadores de masa sintonizados” (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil en obras Civiles). Universidad Austral de Chile, Valdivia - Chile

Sarrazin, M (2016). “Amortiguadores de masa sintonizada en edificios sometidos a registros sísmicos en Chile” (Tesis para optar al grado de magíster en ciencias de la ingeniería, Mención Ingeniería Sísmica). Universidad de Chile, Santiago de Chile - Chile.

Waldo, J (2015). “Mejora Respuesta Dinámica de Edificaciones usando Amortiguadores de masa sintonizada” (Título para optar el grado de ingeniero). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú

Anajafi, H., & Medina, R. A. (2018). Comparison of the seismic performance of a partial mass isolation technique with conventional TMD and base-isolation systems under broad-band and narrow-band excitations. *Engineering Structures*, 158(March 2017), 110–123. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.12.018>

Perú (2016), Decreto supremo que modifica la norma técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del reglamento Nacional de Edificaciones aprobada por decreto supremo N° 011-2006-Vivienda, Modificada con Decreto Supremo N°002-2014-Vivienda.

Aguilar, H. (2018). *Respuesta torsional de edificios sísmicamente aislados en el Perú. Comparación de métodos estáticos y dinámicos*. Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

Anonimo. (26 de Agosto de 2019). Sector construcción crecerá 6% en el 2020 por grandes proyectos. *El Peruano*. Recuperado el 1 de octubre de 2019, de <https://www.elperuano.pe/noticia-sector-construccion-crecera-6-el-2020-grandes-proyectos-82810.aspx>

Aragon, J. (2018). *Comparación de los métodos de análisis sísmico tiempo historia lineal elástico y modal Espectral*. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería Civil, Arequipa.

Bevere, L., Ehrlér, A., Kumar, V., Lechner, R., Schelbert, A., Schwartz, M., & Sharan, R. (2019). *Catástrofes naturales y siniestros antropógenos en 2018: riesgos "secundarios" pasan a primer Plano*. Obtenido de <https://www.swissre.com/institute/research/sigma-research/>

E030. (2018). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima.

ESCALE. (2016). *Lima Metropolitana: ¿cómo vamos en educación?* Lima.

- Guardia, P. (2011). *Determinación de la Superficie de acoplamiento sísmico interplaca en el borde Occidental del Perú*. Tesis para optar el título de Ingeniero Geofísico, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa.
- Herrera, R., Vielma, J., & Pujades, L. (2014). *Metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificios: Un estado del conocimiento*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/271643633>
- Hoang, N., Fujino, Y., & Warnitchai, P. (2008). Optimal tuned mass damper for seismic applications and practical design formulas. *Engineering Structures* 30, (págs. 707 - 715). doi:10.1016/j.engstruct.2007.05.007
- INEI. (2017). *Perú: Perfil Sociodemográfico - Informe Nacional - Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Andinas*. Perú.
- INEI. (2019). *Situación del mercado laboral en Lima Metropolitana*. Lima.
- Medina, C., & Medina, S. (2017). Coeficiente Irregularidad en planta a partir del análisis de Torsión en estructuras irregulares. *Revista Politécnica*, 39(2).
- Muñoz, A. (2018). *Norma Peruana de Diseño Sismorresistente NTE.030 2018*. Diapositivas de clase, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Muñoz, A., Zavala, G., & Zegarra, J. (2009). *Espectros de Diseño para edificaciones Peruanas*. XVII Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Civil, Lima.
- Oyarzo, C. (2009). *Metodos de seleccion y escalamiento de registros sismicos para el analisis de la respuesta en el tiempo*.
- Pique, J., & Scaletti, H. (1991). *Análisis Sísmico de edificios* (9 ed.). Lima, Perú.
- Rashidi, A., Majid, T. A., Fadzli, M. N., Faisal, A., & Noor, S. M. (2017). A comprehensive study on the influence of strength and stiffness eccentricities to the on-plan rotation of asymmetric structure. *AIP Conference Proceedings*, 1892, pág. 120013. doi:<https://doi.org/10.1063/1.5005754>
- Ríos, J. (2018). *Evaluación del comportamiento dinámico del suelo en Lima y Callao utilizando el método del cociente espectral H/V*. Tesis para optar el grado de Magister en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

- Silgado, E. (1978). *Historia de los sismos más notables ocurridos en el Perú*. Lima. Obtenido de <https://www.guzlop-editoras.com/>
- Wakchaure, M., Shirish, A., & Nikam, R. (2012). Study of irregularity on high - rise structures. *International Journal of innovative reearch & development*, 1 Issune 8, págs. 269 - 281.
- Yepez, F., Barat, H., & Canas, J. (1995). Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería. *Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE)*. Barcelona.