



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
ESCUELA DE INGENIERÍA

**REDUCCIÓN EN LA RESPUESTA SÍSMICA DEL EDIFICIO
SANTIAGO NORTE A TRAVÉS DEL USO DE UN
AMORTIGUADOR DE MASA SINTONIZADA COMPUESTO
POR LA LOSA DE AZOTEA.**

DARÍO LOBOS UBERUAGA

Informe de Actividad de Graduación para optar al Grado de
Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica

Profesor Supervisor:

JOSÉ LUIS ALMAZÁN CAMPILLAY

Santiago de Chile, Abril, 2015.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar un profundo agradecimiento a mi familia que siempre me ha prestado soporte en todas las etapas de mi vida, en forma especial en esta nueva etapa de actualización y profundización de conocimientos.

También agradezco a todos los profesores que han participado en el programa del Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica, en forma especial al Profesor José Luis Almazán quien ha proporcionado su inmensurable apoyo en la supervisión y guía de este trabajo, también quisiera agradecer en forma especial la ayuda desinteresada del profesor Carlos Eugenio Seguin en los inicios de este trabajo.

Finalmente un singular agradecimiento a mis compañeros y colegas: Ximena Puentes, Carlos Peña, Miguel Medalla y Gonzalo Dote, por todo el apoyo y ayuda brindada en la etapa de estudios y en el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
I.1 Antecedentes Generales.	1
I.2 Identificación del Problema	3
I.3 Objetivos.	3
I.4 Hipótesis de Trabajo.....	4
I.5 Limitaciones y Alcances de la Investigación.	4
II. MARCO TEÓRICO.	5
II.1 Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS).	5
II.2 Ecuación Diferencial del Movimiento.	7
II.3 AMS Como Dispositivo de Disipación de Energía.....	12
III. METODOLOGÍA.....	19
III.1 Descripción del Edificio en Estudio.....	19
III.2 Modelo Computacional del Edificio Original.	25
III.3 Modelos Computacionales del Edificio Con AMS.	29
III.4 Definición de la Acción Sísmica.	52
III.5 Análisis Sísmico de los Modelos.	81

IV.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	88
IV.1	Periodos Naturales de Vibración de los Modelos con AMS.....	88
IV.2	Fuerzas de Corte Basal.....	95
IV.3	Desplazamientos de los Centros de Masa.	110
IV.4	Diseño de los Aisladores Elastoméricos y Deslizadores Friccionales. ...	138
IV.5	Análisis Sísmico del Modelo Final del Edificio con AMS.	142
V.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
	BIBLIOGRAFÍA.....	149

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla II-1: Edificios Chilenos con Amortiguadores de Masa Sintonizada.....	6
Tabla III-1: Alturas de Entrepiso del Modelo del Edificio.	24
Tabla III-2: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del Edificio sin AMS.	28
Tabla III-3: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS1-1.....	35
Tabla III-4: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS1.....	36
Tabla III-5: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS2-1.....	36
Tabla III-6: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS2.....	37
Tabla III-7: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS3.....	37
Tabla III-8: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS4.....	38
Tabla III-9: Rigideces y Amortiguamiento de los aisladores del AMS4.....	38
Tabla III-10: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS5.....	39
Tabla III-11: Rigideces y Amortiguamiento de los aisladores del AMS5.....	41
Tabla III-12: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS6.....	41
Tabla III-13: Rigideces y Amortiguamiento de los aisladores del AMS6.....	42
Tabla III-14: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS7.....	42
Tabla III-15: Rigideces y Amortiguamiento de los aisladores del AMS7.....	43
Tabla III-16: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS8.....	45
Tabla III-17: Rigideces y Amortiguamiento de los aisladores del AMS8.....	45
Tabla III-18: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS9.....	47
Tabla III-19: Rigideces y Amortiguamiento de los aisladores del AMS9.....	47
Tabla IV-1: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS1-1.....	88
Tabla IV-2: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS1.....	89
Tabla IV-3: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS2-1.....	90
Tabla IV-4: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS2.....	90
Tabla IV-5: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS3.....	91
Tabla IV-6: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS4.....	91
Tabla IV-7: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS5.....	92
Tabla IV-8: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS6.....	93
Tabla IV-9: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS7.....	93

Tabla IV-10: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS8.	94
Tabla IV-11: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS9.	94
Tabla IV-12: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio sin AMS.	95
Tabla IV-13: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS1-1.	96
Tabla IV-14: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS1.	96
Tabla IV-15: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS2-1.	97
Tabla IV-16: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS2.	98
Tabla IV-17: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS3.	98
Tabla IV-18: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS4.	99
Tabla IV-19: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS5.	99
Tabla IV-20: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS6.	100
Tabla IV-21: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS7.	101
Tabla IV-22: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS8.	101
Tabla IV-23: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS9.	102
Tabla IV-24: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS9-1.	102
Tabla IV-25: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS9-2.	103
Tabla IV-26: Resumen de Reducciones de las Respuestas Qx y Qy.	108
Tabla IV-27: Resumen de Reducciones Promedio de las Respuestas Qx y Qy.	110
Tabla IV-28: Reducciones de las Respuestas de Desplazamiento de los CM Promedio por Análisis y Modelo.	130
Tabla IV-29: Reducciones de los Desplazamientos Promedios Medidos en la Dirección X del CM por Nivel y Modelo.	132
Tabla IV-30: Reducciones de los Desplazamientos Promedios Medidos en la Dirección Y del CM por Nivel y Modelo.	133
Tabla IV-31: Reducciones de los Rotaciones Promedios del CM por Nivel y Modelo.	134
Tabla IV-32: Resumen de los Porcentajes de Reducción de Respuestas Promedio por Modelo.	135
Tabla IV-33: Razón de Amortiguamiento Crítico de los Modelos con Deslizadores Friccionales.	138
Tabla IV-34: Resumen de los Diámetros de los Núcleos de los Deslizadores Ficcionales.	141
Tabla IV-35: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS9 Final.	143
Tabla IV-36: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS9 Final.	143

Tabla IV-37: Reducciones de los Desplazamientos Promedio y Rotaciones Promedio del CM por Nivel del Modelo AMS9 Final.	144
Tabla IV-38: Resumen de los Porcentajes de Reducción de Respuestas de los Modelos AMS9 y AMS9 Final.	145

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura II-1: Modelo de un Amortiguador de Masa Sintonizada.	5
Figura II-2: Ejemplos de Amortiguadores de Masa Sintonizada.	6
Figura II-3: Definición de los Grados de Libertad del Problema Dinámico.	7
Figura II-4: Diagrama de Cuerpo Libre para el AMS.	8
Figura II-5: Diagrama de Cuerpo Libre de la planta del n-ésimo piso del Edificio.	9
Figura II-6: Definición de los Grados de Libertad del Problema Dinámico para el AMS conformado por la losa de azotea del edificio.	11
Figura II-7: AMS como dispositivo de disipación de energía.	12
Figura II-8: Módulo de almacenamiento $S(w)$ y Módulo de Pérdida $L(w)$ del AMS como dispositivo de disipación de energía.	15
Figura II-9: Solución Óptima de Diseño del AMS propuesta por Den Hartog.	16
Figura III-1: Fotografías Panorámicas del Edificio Santiago Norte.	19
Figura III-2: Vista Frontal y Trasera del Edificio (S/E).	20
Figura III-3: Vistas Laterales del Edificio (S/E).	21
Figura III-4: Dimensiones de la Planta Cielo Subterráneo (S/E).	21
Figura III-5: Dimensiones de la Planta Cielo Primer Piso (S/E).	22
Figura III-6: Dimensiones de la Planta Cielo Segundo Piso (S/E).	22
Figura III-7: Dimensiones de la Planta Cielo Piso Tipo del Tercero al Duodécimo (S/E).	23
Figura III-8: Dimensiones de la Planta Cielo Piso Décimo Tercer (S/E).	23
Figura III-9: Dimensiones de la Planta Cielo Piso Décimo Cuarto (S/E).	23
Figura III-10: Propiedades Mecánica de los Materiales Utilizados Para la Modelación del Edificio.	25
Figura III-11: Ejemplo de Secciones Transversales de Vigas y Pilares del Edificio.	26
Figura III-12: Ejemplo de espesores de Losa y Muros del Edificio.	26
Figura III-13: División Losa Azotea Para Generación del AMS.	29
Figura III-14: Nueva Estructuración de la Zona Fija de la Losa de Azotea.	30
Figura III-15: Nueva Estructuración en la Zona del AMS.	31
Figura III-16: Edificio con AMS.	31
Figura III-17: Ubicación de los Aisladores Elastoméricos en la planta del AMS (modelos de AMS del 1 al 4).	33

Figura III-18: Ubicación de los Aisladores Elastoméricos en la planta del AMS (modelos de AMS del 5 al 6).	40
Figura III-19: Ubicación de los Aisladores Elastoméricos en la planta del AMS (modelo de AMS7).	44
Figura III-20: Ubicación de los Aisladores Elastoméricos en la planta del AMS (modelo de AMS8).	46
Figura III-21: Ubicación de los Aisladores Elastoméricos en la planta del AMS (modelo de AMS9).	49
Figura III-22: Definición de los aisladores elastoméricos como elemento LINK LINEAR en software SAP2000 (modelo de AMS9).	50
Figura III-23: Definición de los deslizadores como elemento LINK FRICTION ISOLATOR en software SAP2000 (modelo de AMS9).	51
Figura III-24: Registro Semilla Componente Llolleo 100-2010.	52
Figura III-25: Registro Artificial de la Componente Llolleo 100-2010.	53
Figura III-26: Espectro de Diseño de Aceleración de la Nch 2745 of 2003 (Componente Llolleo 100-2010).	54
Figura III-27: Espectro de Diseño de Desplazamiento de la Nch 2745 of 2003 (Componente Llolleo 100-2010).	54
Figura III-28: Espectro de Amplitudes de Fourier del Registro Artificial Componente Llolleo 100-2010.	55
Figura III-29: Espectro de Amplitudes de Fourier Ampliado del Registro Artificial Componente Llolleo 100-2010.	55
Figura III-30: Intensidad de Arias del Registro Artificial Componente Llolleo 100-2010.	56
Figura III-31: Registro Semilla Componente Llolleo 10-2010.	57
Figura III-32: Registro Artificial de la Componente Llolleo 10-2010.	57
Figura III-33: Espectro de Diseño de Aceleración de la Nch 2745 of 2003 (Componente Llolleo 10-2010).	58
Figura III-34: Espectro de Diseño de Desplazamiento de la Nch 2745 of 2003 (Componente Llolleo 10-2010).	59
Figura III-35: Espectro de Amplitudes de Fourier del Registro Artificial Componente Llolleo 10-2010.	60
Figura III-36: Espectro de Amplitudes de Fourier Ampliado del Registro Artificial Componente Llolleo 10-2010.	60
Figura III-37: Intensidad de Arias del Registro Artificial Componente Llolleo 10-2010. .	61
Figura III-38: Registro Semilla Componente Llolleo S80E-1985.	62

Figura III-39: Registro Artificial de la Componente Llolleo S80E-1985.	62
Figura III-40: Espectro de Diseño de Aceleración de la Nch 2745 of 2003 (Componente Llolleo S80E-1985).	63
Figura III-41: Espectro de Diseño de Desplazamiento de la Nch 2745 of 2003 (Componente Llolleo S80E-1985).	64
Figura III-42: Espectro de Amplitudes de Fourier del Registro Artificial Componente Llolleo S80E-1985.	65
Figura III-43: Espectro de Amplitudes de Fourier Ampliado del Registro Artificial Componente Llolleo S80E-1985.	65
Figura III-44: Intensidad de Arias del Registro Artificial Componente Llolleo S80E-1985.	66
Figura III-45: Registro Semilla Componente Llolleo N10E-1985.	67
Figura III-46: Registro Artificial de la Componente Llolleo N10E-1985.	67
Figura III-47: Espectro de Diseño de Aceleración de la Nch 2745 of 2003 (Componente Llolleo N10E-1985).	68
Figura III-48: Espectro de Diseño de Desplazamiento de la Nch 2745 of 2003 (Componente Llolleo N10E-1985).	69
Figura III-49: Espectro de Amplitudes de Fourier del Registro Artificial Componente Llolleo N10E-1985.	70
Figura III-50: Espectro de Amplitudes de Fourier Ampliado del Registro Artificial Componente Llolleo N10E-1985.	70
Figura III-51: Intensidad de Arias del Registro Artificial Componente Llolleo N10E-1985.	71
Figura III-52: Registro Semilla Componente Viña del Mar 290-1985.	72
Figura III-53: Registro Artificial de la Componente Viña del Mar 290-1985.	72
Figura III-54: Espectro de Diseño de Aceleración de la Nch 2745 of 2003 (Componente Viña del Mar 290-1985).	73
Figura III-55: Espectro de Diseño de Desplazamiento de la Nch 2745 of 2003 (Componente Viña del Mar 290-1985).	74
Figura III-56: Espectro de Amplitudes de Fourier del Registro Artificial Componente Viña del Mar 290-1985.	75
Figura III-57: Espectro de Amplitudes de Fourier Ampliado del Registro Artificial Componente Viña del Mar 290-1985.	75
Figura III-58: Intensidad de Arias del Registro Artificial Componente Viña del Mar 290-1985.	76
Figura III-59: Registro Semilla Componente Viña del Mar 200-1985.	77

Figura III-60: Registro Artificial Componente Viña del Mar 200-1985.....	77
Figura III-61: Espectro de Diseño de Aceleración de la Nch 2745 of 2003 (Componente Viña del Mar 200-1985).....	78
Figura III-62: Espectro de Diseño de Desplazamiento de la Nch 2745 of 2003 (Componente Viña del Mar 200-1985).....	79
Figura III-63: Espectro de Amplitudes de Fourier del Registro Artificial Componente Viña del Mar 200-1985.....	80
Figura III-64: Espectro de Amplitudes de Fourier Ampliado del Registro Artificial Componente Viña del Mar 200-1985.....	80
Figura III-65: Intensidad de Arias del Registro Artificial Componente Viña del Mar 200-1985.....	81
Figura III-66: Análisis Sísmico HRT Llolleo 100-1985.....	82
Figura III-67: Análisis Sísmico HRT Llolleo 10-1985.....	82
Figura III-68: Análisis Sísmico HRT Llolleo 100-2010.....	83
Figura III-69: Análisis Sísmico HRT Llolleo 10-2010.....	83
Figura III-70: Análisis Sísmico HRT Viña 290-1985.....	84
Figura III-71: Análisis Sísmico HRT Viña 200-1985.....	84
Figura III-72: Análisis Sísmico HRT Llolleo 100-2010 en software SAP200 Modelo sin AMS.....	85
Figura III-73: Análisis Sísmico HRT Llolleo 100-2010 en software SAP200 Modelo con AMS.....	86
Figura III-74: Análisis Sísmico HRT Llolleo 100-2010 en software SAP200 Modelo con AMS y precarga GRAV-FNL.....	87
Figura IV-1: Porcentaje de Reducción de las Fuerzas Cortantes de los Modelos con AMS.....	105
Figura IV-2: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección X de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 100-2010.....	112
Figura IV-3: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección Y de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 100-2010.....	113
Figura IV-4: Porcentaje de Reducción de las Rotaciones de los CM de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 100-2010.....	114
Figura IV-5: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección X de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 10-2010.....	115
Figura IV-6: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección Y de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 10-2010.....	116

Figura IV-7: Porcentaje de Reducción de las Rotaciones de los CM de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 10-2010.	117
Figura IV-8: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección X de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 100-1985.	118
Figura IV-9: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección Y de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 100-1985.	119
Figura IV-10: Porcentaje de Reducción de las Rotaciones de los CM de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 100-1985.	120
Figura IV-11: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección X de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 10-1985.	121
Figura IV-12: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección Y de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 10-1985.	122
Figura IV-13: Porcentaje de Reducción de las Rotaciones de los CM de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 10-1985.	123
Figura IV-14: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección X de los Modelo con AMS, Análisis Viña 290-1985.	124
Figura IV-15: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección Y de los Modelo con AMS, Análisis Viña 290-1985.	125
Figura IV-16: Porcentaje de Reducción de las Rotaciones de los CM de los Modelo con AMS, Análisis Viña 290-1985.	126
Figura IV-17: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección X de los Modelo con AMS, Análisis Viña 200-1985.	127
Figura IV-18: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección Y de los Modelo con AMS, Análisis Viña 200-1985.	128
Figura IV-19: Porcentaje de Reducción de las Rotaciones de los CM de los Modelo con AMS, Análisis Viña 200-1985.	129
Figura IV-20: Deformación v/s Fuerza de corte medidas en la dirección X del conjunto de deslizadores debido al análisis sísmico de Llolleo 100-2010 (Modelo AMS9-1).	136
Figura IV-21: Deformación v/s Fuerza de corte del conjunto de deslizadores (Ciclo histerético del conjunto de deslizadores friccionales.	137
Figura IV-22: Deformación v/s Fuerza de corte del conjunto de aisladores.	137
Figura IV-23: Dimensiones y Conformación del Aislador Elastomérico Tipo (S/E).	140
Figura IV-24: Elevación del Deslizador Friccional (S/E).	141
Figura IV-25: Corte X-X del Deslizador Friccional (S/E).	142

RESUMEN

El presente trabajo considera evaluar la implementación de un AMS como sistema de reducción de vibraciones sísmicas en el edificio “Santiago Norte”, ubicado en el Centro Empresarial el Cortijo de la Región Metropolitana. Para ello se consideró utilizar la losa de azotea del edificio montada sobre aisladores elastoméricos para constituir el AMS, así como también se evaluó la incorporación de deslizadores friccionales para variar el amortiguamiento del dispositivo. Como el dispositivo resultante (AMS) es un sistema de 3 gdl. con 3 modos de vibración, el dispositivo resultante puede considerarse como un AMS múltiple, por tanto para evaluar el diseño del AMS que mejor controla la respuesta tridimensional del edificio, se generaron 13 modelos de AMS con diferentes configuraciones para considerar diferentes formas de sintonizar el dispositivo con la estructura principal.

Para evaluar el desempeño de los AMS como sistema de reducción de vibraciones, se modeló el edificio en el software SAP2000 V14 con y sin los dispositivos, para cada modelo se realizaron análisis sísmicos bidireccionales tipo tiempo-historia considerando tres pares de registros artificiales compatibles con el espectro de diseño de NCh2745Of.2003 utilizando como base los registros de Llolleo1985, Llolleo2010 y Melipilla1985, estos pares de registros fueron aplicados en ambas direcciones, generándose seis análisis por cada modelo.

De los resultados obtenidos, el modelo de AMS que generó mayores niveles de reducción en las respuestas del edificio fue el AMS que se sintonizó con el periodo de vibración en la dirección Y del edificio y se adicionaron deslizadores friccionales ubicando los aisladores elastoméricos lo más alejado posible del CM del AMS para aumentar su rigidez torsional, en este modelo se alcanzaron reducciones del orden de 25% en la mayoría de las respuestas en la estructura. También se pudo apreciar lo sensible que son las reducciones de las respuestas estructurales al sismo de entrada, ya que para un mismo AMS, la reducción en la respuesta varía considerablemente entre un registro y otro.

ABSTRACT

This work considers evaluate the implementation of an AMS as reduction system seismic vibrations in the "Santiago Norte" building, located in the Business Center Cortijo Metropolitan Region. This shall be considered using the slab building roof mounted elastomeric isolators to form the AMS and the incorporation of frictional sliders to vary the damping device is also evaluated. As the resulting device (AMS) system is a 3 DOF. with three vibration modes, the resulting device can be considered a multiple AMS therefore to assess the AMS design that best controls the dimensional response of the building 13 AMS models were generated with different configurations to consider different ways to tune the device with the main structure.

To evaluate the performance of the AMS as vibration reduction system, the building was modeled in SAP2000 V14 software with and without device, for each model analyzes were performed bidirectional seismic time-history type considering three pairs of artificial records compatible with the NCh2745Of.2003 design spectrum using the records basis: Llolleo1985, Melipilla1985 and Llolleo2010. These register pairs were applied in both directions, generating six analyzes for each model.

From the results, the model of AMS that generated higher levels of reduction in the responses of the building was the AMS that was tuned to the period of vibration in the Y direction of the building and frictional sliders were added locating the elastomeric isolators as far away as possible CM to increase torsional rigidity, in this model reductions of around 25% in most of the answers in the structure were achieved. Was also seen how sensitive are the reductions of structural responses to earthquake input, since for the same AMS, the reduction in the response varies considerably from one register to another.

I. INTRODUCCIÓN

I.1 Antecedentes Generales.

La filosofía del diseño sismorresistente convencional se basa en la capacidad de disipación de energía que poseen las estructuras que le permite gastar parte de la energía que le entrega el sismo, por tanto asume que ciertas secciones de los elementos estructurales sufrirán deformaciones inelásticas cuando la estructura es sometida a movimientos sísmicos severos durante su vida útil, lo que implica que dichos elementos presentarán un cierto nivel daño. Esto se puede apreciar al revisar los objetivos de la norma de diseño sísmico NCh433Of96 mod. 2009 y el Decreto Supremo DS61, uno de ellos es prevenir que se produzca el colapso estructural y salvaguardar la vida de sus ocupantes cuando la estructura es solicitada por movimientos sísmicos de intensidad excepcionalmente severa, por tanto no busca prevenir el daño en la estructura y de los elementos que esta alberga, en algunos casos los daños pueden limitar o imposibilitar el uso de una estructura con posterioridad a un sismo severo, en el caso de estructuras, tales como: hospitales, colegios, cárceles, edificios públicos e industriales, museos, datacenters, puertos, puentes y aeropuertos, el objetivo de desempeño de la norma puede no ser suficiente, ya que en ellas se requiere proteger sus contenidos, así como también asegurar la continuidad en la operación durante o inmediatamente después de ocurrido un sismo severo.

Una forma de prevenir el daño en las estructuras y en los elementos que esta contiene, es incorporar sistemas de protección sísmica, estos sistemas permiten reducir las respuestas en la estructura y en los elementos no estructurales, permitiendo con esto asegurar la continuidad en el funcionamiento de dicha estructura posterior al evento sísmico y salvaguardar el contenido de estas. Dentro de estos sistemas se puede identificar los sistemas de aislación basal y los sistemas de disipación de energía. En términos generales, los sistemas de aislación sísmica aíslan gran parte de la energía que el sismo trasfiere a la superestructura, reduciendo considerablemente los esfuerzos y deformaciones de la estructura aislada, previniendo el daño estructural y no estructural. Por su parte, los sistemas de disipación de energía, si bien no evitan el ingreso de energía a la estructura, permiten que la disipación de energía se concentre en dispositivos especialmente diseñados

para esos fines, reduciendo sustancialmente la porción de la energía que debe ser disipada por la estructura consiguiendo una reducción de la respuesta estructural disminuyendo el daño de componentes estructurales y no estructurales.

La incorporación de sistemas de protección sísmica en las estructuras ha experimentado un incremento sustancial posterior al terremoto sufrido en el sur de Chile el 27 de Febrero de 2010, dichos dispositivos han demostrado ser eficientes para reducir las respuestas y daños producidas en las estructuras y en los elementos que esta alberga cuando son solicitadas por eventos sísmicos de baja, mediana y gran intensidad en países como Nueva Zelanda, Japón y Estados Unidos entre otros, un ejemplo real es el excelente comportamiento presentado en las estructuras aisladas sísmicamente que soportaron el terremoto de Japón el año 2011.

Dentro de los sistemas de disipación de energía, se pueden identificar los siguiente dispositivos: Disipadores activados por desplazamientos (metálicos, friccionales, de extrusión de materiales y los sistemas autocentrantes), Disipadores activados por velocidad (fluido-viscosos y muros viscosos), Disipadores activados por desplazamientos y velocidad (visco-elásticos sólidos), Disipadores activados por movimiento (Amortiguadores de masa sintonizada, Amortiguadores de líquido sintonizada).

El Amortiguador de Masa Sintonizada (AMS) es un sistema constituido por una masa, elementos que generan fuerza restitutiva y mecanismos de disipación de energía, conformándose un sistema oscilador de uno o más grados de libertad. Este tipo de dispositivo se diseña de modo que la frecuencia de vibración del dispositivo se sintoniza con la frecuencia de vibración del edificio en la dirección que se requiere controlar, produciéndose el acoplamiento entre las frecuencias de vibración de la estructura y del dispositivo, como consecuencia se consigue la reducción de la respuesta dinámica en la estructura en la dirección que se desea controlar. En la actualidad este tipo de dispositivo se ha comenzado a utilizar en edificios de mediana altura, debido a que dichos dispositivos generalmente se instalan a nivel de techo de las estructuras, consiguiendo con esto un menor impacto en la arquitectura del edificio.

I.2 Identificación del Problema

En la mayoría de los edificios que se han utilizado Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS) como sistema de protección sísmica, los dispositivos han sido diseñados considerando disponer masas adicionales al edificio montadas sobre aisladores elastoméricos o suspendidas de cables, lo que permiten generar fuerzas restitutivas que actúan sobre la masa del AMS y la masa del edificio, generalmente estas masas adicionales se ubican en la azotea del edificio. Una opción que merece ser analizada en el diseño de un AMS, es utilizar la masa correspondiente a la losa de azotea del edificio para conformar el AMS.

I.3 Objetivos.

Evaluar la reducción en la respuesta sísmica de un edificio al aplicar un Amortiguador de Masa Sintonizada (AMS) aprovechando la losa de azotea, caso analizado Edificio Santiago Norte.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Diseñar un AMS como dispositivo de protección sísmica para el Edificio Santiago Norte aprovechando la masa de la azotea del edificio.
- Realizar un análisis sísmico tipo tiempo-historia al Edificio Santiago Norte para el edificio original y para el edificio con AMS, obteniendo respuestas.
- Evaluar la reducción de las respuestas sísmicas alcanzadas en los modelos con y sin AMS.

I.4 Hipótesis de Trabajo.

Se considera como sistema de protección sísmica el Amortiguador de Masa Sintonizada (AMS) aplicada al caso de estudio Edificio Santiago Norte el que permitirá reducir la respuesta sísmica de dicho Edificio.

I.5 Limitaciones y Alcances de la Investigación.

El presente trabajo ha limitado a los siguientes aspectos:

- Se considera como único caso de estudios el Edificio Santiago Norte.
- En la modelación no se considera la interacción suelo-estructura.
- Se considera que las propiedades dinámicas reales del Edificio son iguales a propiedades dinámicas obtenidas del modelo computacional y estas se mantienen invariantes durante los análisis sísmicos realizados.
- Se considera un comportamiento lineal elástico de los elementos estructurales edificio, en el caso de los elementos restitutivos del AMS se consideró su comportamiento como no-lineal.

De acuerdo a estas limitantes las conclusiones obtenidas en el presente trabajo no necesariamente podrán ser extrapoladas a otros casos.

II. MARCO TEÓRICO.

II.1 Amortiguadores de Masa Sintonizada (AMS).

El AMS es un sistema constituido por una masa, elementos restituitivos y mecanismos de disipación de energía (ver Figuras II-1 y II-2). Estos sistemas, que generalmente se montan en la parte superior de las estructuras, son activados por las fuerzas inerciales transmitidas por la estructura. Este tipo de dispositivo utiliza el acoplamiento entre las frecuencias naturales de vibración de la estructura y del AMS, así cuando la estructura principal es excitada en dicha frecuencia, o cerca de ella, el AMS entra en resonancia disipando parte de la energía suministrada por el sismo a la estructura mediante la acción de la fuerza inercial desarrollada por el AMS sobre la estructura. Como consecuencia de lo anterior la respuesta dinámica de la estructura principal se reduce.

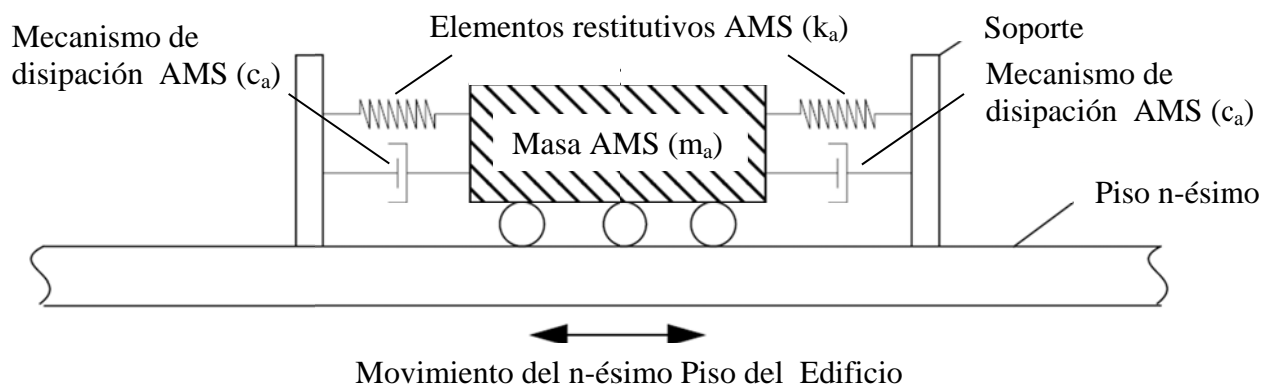


Figura II-1: Modelo de un Amortiguador de Masa Sintonizada.
[Fuente: Modificado de Connor J.J. (2000)]

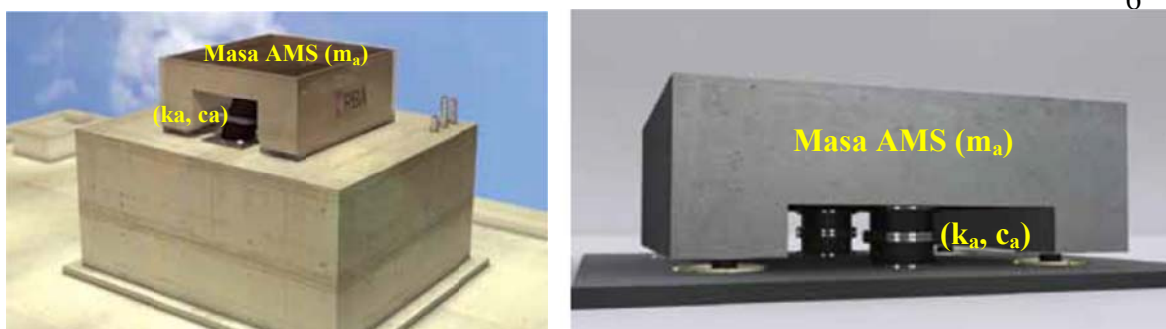


Figura II-2: Ejemplos de Amortiguadores de Masa Sintonizada.
[Fuente: Modificado de Documento Técnico N°29 CDT (2011)]

En Chile la aplicación de estos dispositivos como sistema de protección sísmica se ha comenzado a utilizar a partir del año 2006, en la Tabla II-1 se pueden apreciar los proyectos que ha desarrollado la empresa SIRVE que incorporan este tipo de dispositivo para reducir la demanda sísmica en las estructuras, de esta tabla se puede apreciar que se ha producido un aumento en la utilización de estos dispositivos posterior al terremoto del 27/03/2010, también se puede apreciar que estos dispositivos logran generar un 25% de reducción en la respuesta sísmica. El Edificio Parque Araucano fue el único proyecto que estaba construido antes de terremoto del 27F, este proyecto desarrollado entre VMB Ingeniería Estructural y SIRVE, el edificio tuvo un excelente desempeño durante el terremoto 27F de acuerdo a lo indicado por VMB, los AMS redujeron considerablemente el nivel de daños provocado por el sismo, alcanzando cero daño en la estructura y en el contenido de estas.

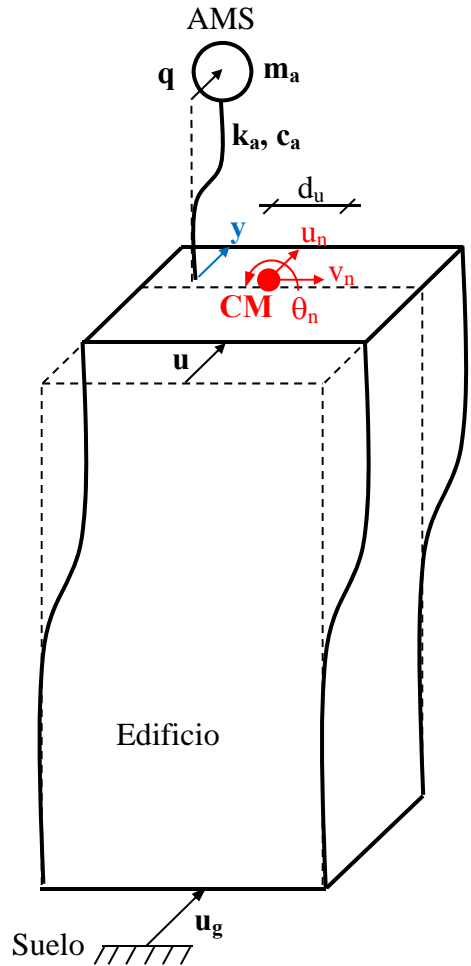
Tabla II-1: Edificios Chilenos con Amortiguadores de Masa Sintonizada

Proyecto	Año	Características	Sistema de Protección Sísmica	Reducción
Edificio Parque Araucano	2006	Edificio de Oficinas, 22 pisos y 6 subterráneos.	Dos AMS de 160 ton c/u	Sin Inf.
Edificio Geocentro Agustinas	2010	Edificio Residencial, 36 pisos y 4 subterráneos.	Dos AMS de 200 ton c/u	15 a 30 %
Edificio Cerro Colorado Torre B	2011	Edificio Residencial, 15 pisos y 3 subterráneos.	Dos AMS de 115 ton c/u	25 a 35 %
Proyecto Las Condes Capital	2011	Edificio Residencial, 19 pisos y 5 subterráneos.	Dos AMS de 150 ton c/u	20 a 25 %
Edificio Jardines de Infante	2011	Edificio Residencial, 22 pisos y 2 subterráneos.	Dos AMS de 100 t ton c/u	20 a 25 %

[Fuente: www.sirve.cl]

II.2 Ecuación Diferencial del Movimiento.

A continuación se derivarán las ecuaciones que rigen el comportamiento dinámico de estructuras que poseen AMS como sistemas de protección sísmica, en la Figura II-3 se puede apreciar la estructura principal (edificio) sus grados de libertad referidos al suelo y el desplazamiento del grado de libertad del AMS relativo al punto de anclaje del dispositivo.



Donde:

- u_g = Movimiento a nivel del suelo.
- u = Desplazamiento traslacional de los distintos niveles del edificio con respecto al suelo.
- y = Desplazamiento traslacional del punto de anclaje del AMS medido con respecto al suelo.
- q = Desplazamiento traslacional del AMS medido c/r al punto de anclaje del AMS en el edificio.
- CM = Centro de Masa del n-ésimo nivel del edificio.
- u_n = Desplazamiento traslacional del CM a nivel n-ésimo en la dirección u .
- v_n = Desplazamiento traslacional del CM a nivel n-ésimo en la dirección v .
- θ_n = Rotación del CM a nivel n-ésimo.
- m_a = Masa del AMS.
- k_a = Rigidez del AMS.
- C_a = Amortiguamiento del AMS.

Figura II-3: Definición de los Grados de Libertad del Problema Dinámico.

[Fuente : Elaboración Propia]

De la Figura II-3 se puede establecer las siguientes relaciones cinemáticas:

$$y = L_a * u \quad (2.1)$$

$$u^{tot} = u + r * u_g \quad (2.2)$$

$$y^{tot} = L_a * (u + r * u_g) \quad (2.3)$$

$$q^{tot} = q + y^{tot} = q + L_a * (u + r * u_g) \quad (2.4)$$

Donde:

\mathbf{L}_a = Matriz de compatibilidad que relaciona los gdl del CM con los gdl del punto de anclaje del AMS a la estructura.

\mathbf{r} = Vector de influencia que coloca el movimiento del suelo a los gdl paralelos a dicho movimiento.

En la Figura II-4, se muestra las fuerzas actuantes sobre la masa del AMS y su punto de anclaje.

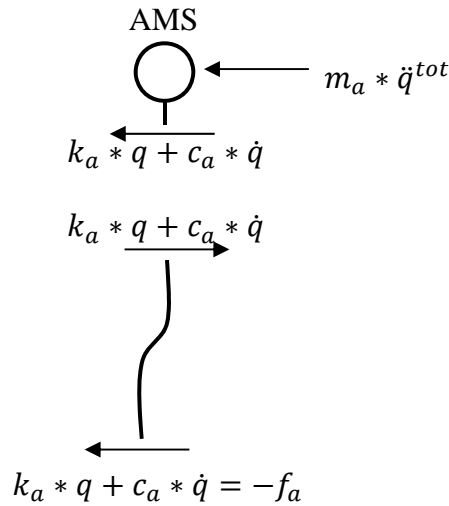


Figura II-4: Diagrama de Cuerpo Libre para el AMS.
[Fuente: Elaboración Propia]

Aplicando el equilibrio de fuerzas dinámicas actuantes sobre el AMS (Figura II-4), se tiene:

$$\sum F_{dinámicas}: m_a * \ddot{q}^{tot} + c_a * \dot{q} + k_a * q = 0 \quad (2.5)$$

De otra forma la ecuación puede ser escrita:

$$m_a * \ddot{q}^{tot} = -c_a * \dot{q} - k_a * q = f_a = m_a * (\ddot{q} + L_a * (\ddot{u} + \mathbf{r} * \ddot{u}_g)) \quad (2.6)$$

En la Figura II-5, se puede apreciar las fuerzas que se producen sobre el diafragma de piso en donde se encuentra colocado el AMS.

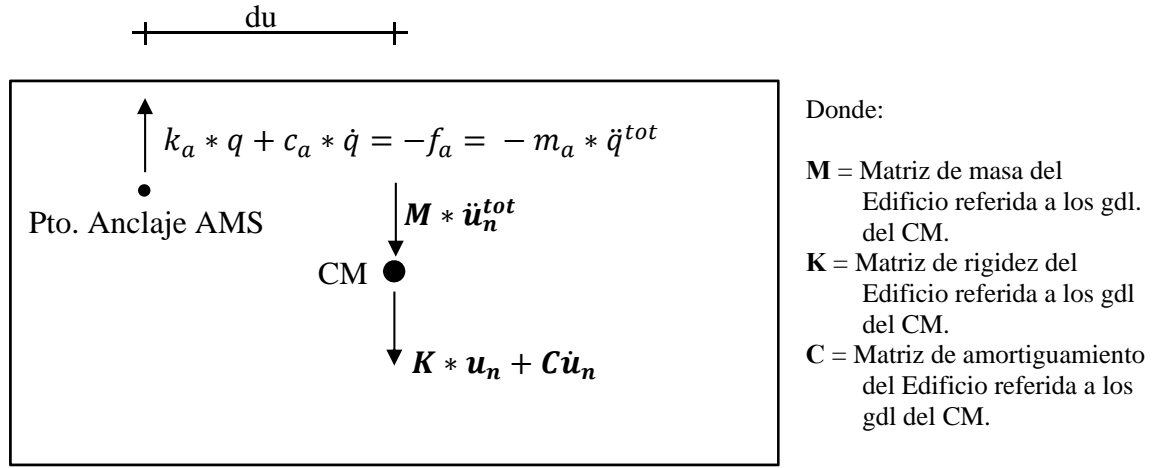


Figura II-5: Diagrama de Cuerpo Libre de la planta del n-ésimo piso del Edificio.
[Fuente: Elaboración Propia]

Aplicando el equilibrio de fuerzas dinámicas actuantes sobre el Edificio, se tiene:

$$\sum F_{dinámicas} : \mathbf{M} * \ddot{\mathbf{u}}^{tot} + \mathbf{C} * \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K} * \mathbf{u} + \mathbf{L}_a^T * \mathbf{f}_a = \mathbf{0} \quad (2.7)$$

Reemplazando la ecuación (2.2) y (2.6) en la ecuación (2.7) se puede escribir de la forma:

$$\mathbf{M} * \ddot{\mathbf{u}}^{tot} + \mathbf{C} * \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K} * \mathbf{u} + \mathbf{L}_a^T * \left(m_a * \left(\ddot{q} + \mathbf{L}_a * (\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{r} * \ddot{u}_g) \right) \right) = \mathbf{0} \quad (2.8)$$

Reordenando:

$$(\mathbf{M} + \mathbf{L}_a^T * m_a * \mathbf{L}_a) * \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C} * \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K} * \mathbf{u} + \mathbf{L}_a^T * m_a * \ddot{q} = -(\mathbf{M} + (\mathbf{L}_a^T * m_a * \mathbf{L}_a)) * \mathbf{r} * \ddot{u}_g \quad (2.9)$$

Con las ecuaciones (2.6) y (2.9) se puede generar el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} (\mathbf{M} + \mathbf{L}_a^T * m_a * \mathbf{L}_a) * \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C} * \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K} * \mathbf{u} + \mathbf{L}_a^T * m_a * \ddot{q} &= -(\mathbf{M} + (\mathbf{L}_a^T * m_a * \mathbf{L}_a)) * \mathbf{r} * \ddot{u}_g \\ m_a * \mathbf{L}_a * \ddot{\mathbf{u}} + m_a * \ddot{q} + c_a * \dot{q} + k_a * q &= -m_a * \mathbf{L}_a * \mathbf{r} * \ddot{u}_g \end{aligned}$$

Este sistema se puede escribir matricialmente de la siguiente forma

$$\begin{bmatrix} (\mathbf{M} + \mathbf{L}_a^T * m_a * \mathbf{L}_a) & \mathbf{L}_a^T * m_a \\ m_a * \mathbf{L}_a & m_a \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{u}} \\ \ddot{q} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C} & \mathbf{0} \\ 0 & c_a \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{u}} \\ \dot{q} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K} & \mathbf{0} \\ 0 & k_a \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u} \\ q \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} (\mathbf{M} + \mathbf{L}_a^T * m_a * \mathbf{L}_a) * \mathbf{r} \\ (m_a * \mathbf{L}_a) * \mathbf{r} \end{Bmatrix} \ddot{u}_g \quad (2.10)$$

La ecuación (2.10) representa la ecuación diferencial del movimiento del edificio que posee un AMS como sistema de protección sísmica. Notar que los términos de acoplamiento en la matriz de masa generan la interacción entre la estructura y el AMS. De

esta ecuación además se puede notar que el problema presenta una amortiguamiento no-clásico.

En el caso que el problema considere más de un AMS dispuesto sobre la estructura, se deberá ensamblar la matriz de masa, de amortiguamiento y de rigidez de los AMS, esto es:

$$\mathbf{m}_a = \begin{bmatrix} m_{a1} & 0 & 0 \\ 0 & \dots & \dots \\ 0 & \dots & m_{an} \end{bmatrix} \text{ Matriz de masa de los AMS.}$$

$$\mathbf{c}_a = \begin{bmatrix} c_{a1} & 0 & 0 \\ 0 & \dots & \dots \\ 0 & \dots & c_{an} \end{bmatrix} \text{ Matriz de amortiguamiento de los AMS.}$$

$$\mathbf{k}_a = \begin{bmatrix} k_{a1} & 0 & 0 \\ 0 & \dots & \dots \\ 0 & \dots & k_{an} \end{bmatrix} \text{ Matriz de rigidez de los AMS.}$$

Luego la ecuación diferencial del movimiento (2.10), se puede escribir:

$$\begin{bmatrix} (\mathbf{M} + \mathbf{L}_a^T * \mathbf{m}_a * \mathbf{L}_a) & \mathbf{L}_a^T * \mathbf{m}_a \\ \mathbf{m}_a * \mathbf{L}_a & \mathbf{m}_a \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{u}} \\ \ddot{\mathbf{q}} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{c}_a \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{u}} \\ \dot{\mathbf{q}} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{k}_a \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{q} \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} (\mathbf{M} + \mathbf{L}_a^T * \mathbf{m}_a * \mathbf{L}_a) * \mathbf{r} \\ (\mathbf{m}_a * \mathbf{L}_a) * \mathbf{r} \end{Bmatrix} \ddot{\mathbf{u}}_g \quad (2.11)$$

En el caso de considerar como AMS la losa de azotea del edificio montadas sobre aisladores sísmicos elastoméricos, el AMS presenta 3 gdl, dos grados de libertad traslacionales y uno rotacional (ver Figura II.6). En este caso \mathbf{m}_a , \mathbf{c}_a , \mathbf{k}_a son las matrices de: masa, amortiguamiento y rigidez del AMS, de estas se puede apreciar que existe acoplamiento entre los distintos gdl del AMS.

$$\mathbf{m}_a = \begin{bmatrix} m_u & 0 & 0 \\ 0 & m_v & 0 \\ 0 & 0 & m_\theta \end{bmatrix} \text{ Matriz de masa del AMS.}$$

$$\mathbf{c}_a = \begin{bmatrix} c_{uu} & c_{uv} & c_{u\theta} \\ c_{vu} & c_{vv} & c_{v\theta} \\ c_{\theta u} & c_{\theta v} & c_{\theta\theta} \end{bmatrix} \text{ Matriz de amortiguamiento del AMS.}$$

$$\mathbf{k}_a = \begin{bmatrix} k_{uu} & k_{uv} & k_{u\theta} \\ k_{vu} & k_{vv} & k_{v\theta} \\ k_{\theta u} & k_{\theta v} & k_{\theta\theta} \end{bmatrix} \text{ Matriz de rigidez del AMS.}$$

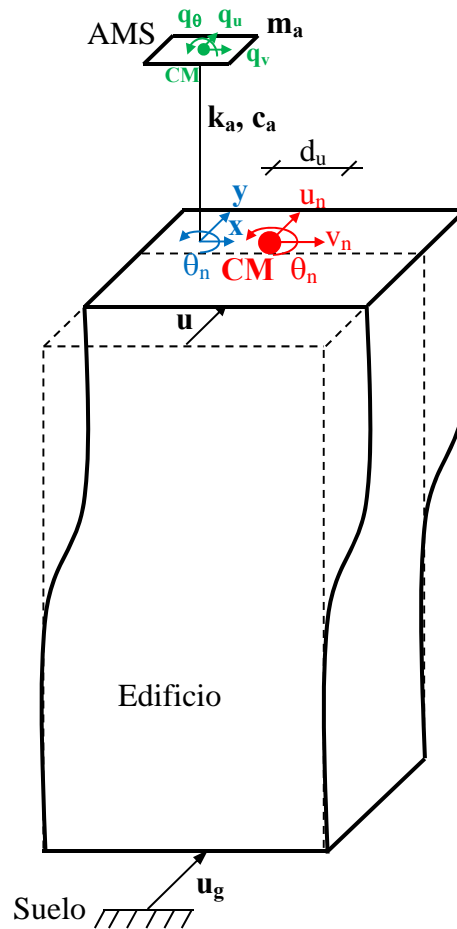


Figura II-6: Definición de los Grados de Libertad del Problema Dinámico para el AMS conformado por la losa de azotea del edificio.

[Fuente: Elaboración Propia]

La ecuación 2.11 sigue siendo válida para representar el problema dinámico del Edificio más el AMS. En este caso \mathbf{L}_a es la matriz que relaciona los gdl del CM del último nivel (u_n, v_n, θ_n) con los desplazamientos del punto de anclaje del AMS (y, x, θ_n).

II.3 AMS Como Dispositivo de Disipación de Energía.

Según De la Llera (2011) podemos mirar el AMS como un dispositivo de disipación de energía:

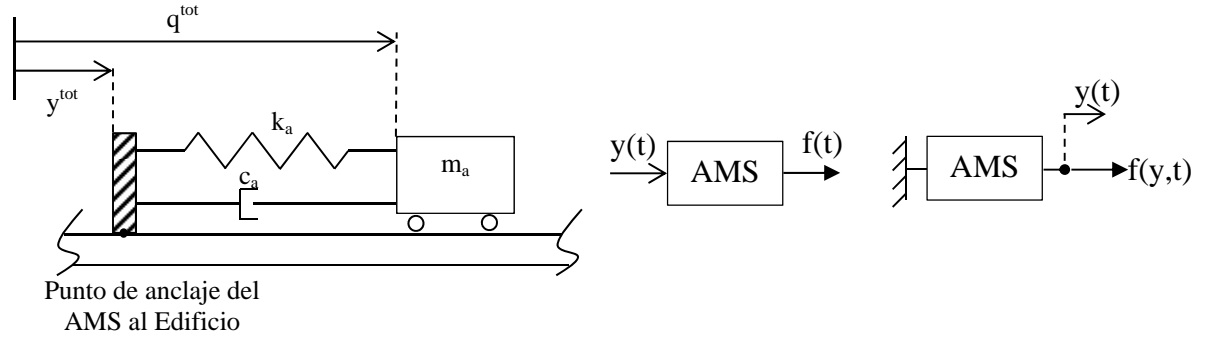


Figura II-7: AMS como dispositivo de disipación de energía.
[Fuente: Elaboración Propia]

Del equilibrio dinámico sobre m_a se tiene:

$$\sum F_{dinámicas}: m_a * \ddot{q}^{tot} + c_a * (\dot{q}^{tot} - \dot{y}^{tot}) + k_a * (q^{tot} - y^{tot}) = 0 \quad (2.12)$$

Aplicando la Transformada de Fourier, $F(j\omega)$, sobre la ecuación (2.12) se tiene:

$$m_a * (j\omega)^2 * Q(j\omega) + c_a * (j\omega) * (Q(j\omega) - Y(j\omega)) + k_a * (Q(j\omega) - Y(j\omega)) = 0 \quad (2.13a)$$

$$(-m_a * \omega^2 + c_a * (j\omega) + k_a) * Q(j\omega) = (c_a * (j\omega) + k_a) * Y(j\omega) \quad (2.13b)$$

Reordenando:

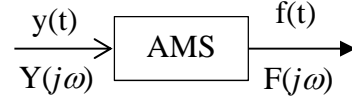
$$Q(j\omega) = \frac{c_a * (j\omega) + k_a}{(k_a - m_a * \omega^2) + c_a * (j\omega)} Y(j\omega) \quad (2.14)$$

Luego la función de transferencia es:

$$H(j\omega) = \frac{c_a * (j\omega) + k_a}{(k_a - m_a * \omega^2) + c_a * (j\omega)} \quad (2.15)$$

Por otro lado como el AMS genera fuerzas inerciales $f_a(t) = m_a * \ddot{q}^{tot}(t)$ sobre la estructura en el punto de anclaje, ver Figura II-4 y ecuación (2.6), si se aplica la Transformada de Fourier sobre la ecuación acción deformación del dispositivo:

$$F(j\omega) = -m_a * \omega^2 * Q(j\omega) = -m_a * \omega^2 * \frac{c_a * (j\omega) + k_a}{(k_a - m_a * \omega^2) + c_a * (j\omega)} Y(j\omega)$$



$$\frac{F(j\omega)}{Y(j\omega)} = \frac{-m_a * \omega^2 * (c_a * (j\omega) + k_a)}{(k_a - m_a * \omega^2) + c_a * (j\omega)} = S(\omega) + j * L(\omega) \quad (2.16)$$

Sea: $\omega_a^2 = \frac{k_a}{m_a}$, $r = \frac{\omega}{\omega_a}$; $\frac{c_a}{m_a} = 2 * \varepsilon_a * \omega_a$; reemplazando estas expresiones en la ecuación (2.16) y realizando procesos algebraicos, la expresión (2.16) puede escribirse:

$$\frac{F(j\omega)}{Y(j\omega)} = \left(\frac{-r^2(1 - r^2 + 4 * \varepsilon_a^2 * r^2)}{(1 - r^2)^2 + 4 * \varepsilon_a^2 * r^2} \right) * k_a + j * \left(\frac{r^5}{(1 - r^2)^2 + 4 * \varepsilon_a^2 * r^2} \right) * \omega_a * c_a$$

De la expresión anterior se puede identificar el módulo de almacenamiento $S(\omega)$ y el módulo de pérdida $L(\omega)$ del dispositivo de disipación de energía en el análisis en frecuencia. El módulo de almacenamiento tiene que ver con la acción de restitución que posee el dispositivo:

$$S(\omega) = \left(\frac{-r^2(1 - r^2 + 4 * \varepsilon_a^2 * r^2)}{(1 - r^2)^2 + 4 * \varepsilon_a^2 * r^2} \right) * k_a \quad (2.17)$$

Notar que $\left(\frac{-r^2(1 - r^2 + 4 * \varepsilon_a^2 * r^2)}{(1 - r^2)^2 + 4 * \varepsilon_a^2 * r^2} \right)$ es un amplificador de la rigidez del AMS.

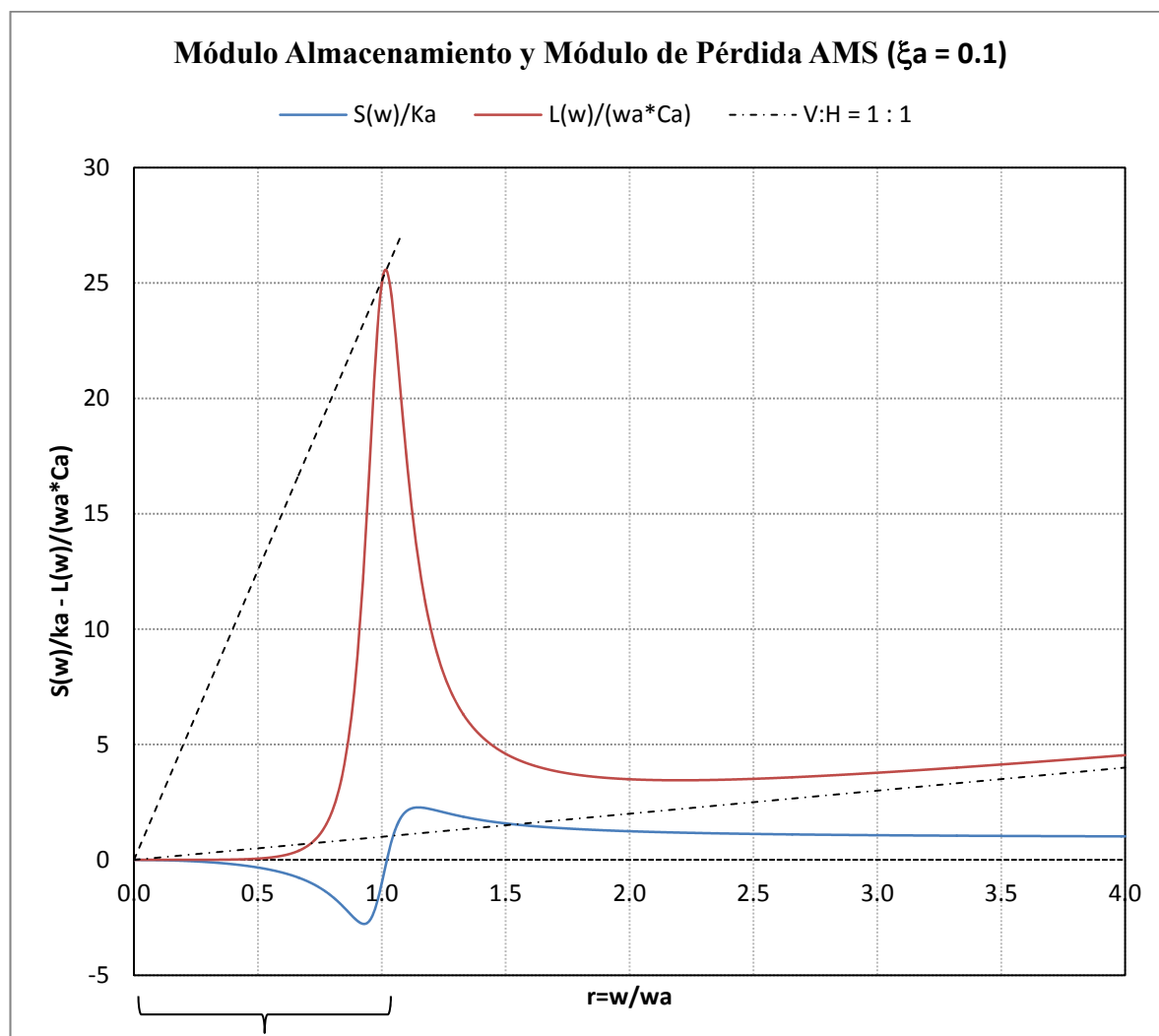
El módulo de pérdida tiene que ver con la acción de disipación de energía que posee el dispositivo:

$$L(\omega) = \left(\frac{r^5}{(1 - r^2)^2 + 4 * \varepsilon_a^2 * r^2} \right) * \omega_a * c_a \quad (2.18)$$

De la ecuación (2.18) se puede apreciar que el término $\left(\frac{r^5}{(1-r^2)^2+4*\xi_a^2*r^2}\right) * \omega_a$ es un amplificador del amortiguamiento del AMS.

En la Figura II-8 se puede apreciar como varía $S(\omega) / k_a$ y $L(\omega) / (\omega_a * c_a)$ en función a r (razón de frecuencias del movimiento del pto. de anclaje ω y la frecuencia natural de vibración del AMS ω_a) para el caso en donde la razón de amortiguamiento crítico del AMS, ξ_a , es de 10%. De este gráfico se puede destacar que existe una zona en donde el AMS introduce energía al sistema (la excita) en lugar de disiparla, este efecto se produce para valores de r menores a 1, cuando el valor $r \approx 1$ el AMS es capaz de disipar la mayor cantidad de energía, vale decir es la condición óptima de diseño del AMS, este efecto se da cuando la frecuencia angular natural de vibración del AMS ω_a , se sintoniza con la frecuencia de la excitación del punto de anclaje entre la estructura y el AMS ω . De esta figura además se puede inferir que la eficiencia del AMS como dispositivo de disipación de energía es altamente dependiente de $r = \frac{\omega}{\omega_a}$, vale decir de la sintonía de entre las frecuencias de la excitación del punto de anclaje ω con la frecuencia de natural angular de vibración del AMS ω_a .

Los sistemas de absorción dinámico de vibraciones han sido ampliamente estudiado desde principios del siglo pasado, los primeros estudios sobre sistemas de absorción dinámico de vibraciones son realizados por Frahm (1909), en este primer estudio se consideró colocar sobre la masa de la estructura principal un oscilador de un gdl compuesto por una masa pequeña (m_a) que va conectada a la estructura principal por medio de un resorte (k_a) (absorbedor de vibraciones), sobre la masa principal se hizo actuar una fuerza dinámica monofrecuencial (ω) de tipo armónica, de este estudio se concluyó que si la frecuencia del absorbedor (ω_a) adherido a la estructura principal coincide con la frecuencia de la excitación, entonces la masa de la estructura principal permanece quieta y el absorbedor genera en todo instante sobre la estructura fuerzas iguales y contrarias a la de la excitación.



En esta zona se denota una rigidez negativa lo que genera inestabilidad del AMS, hay que tener cuidado con esta zona, ya que en esta zona el AMS introduce energía al sistema en lugar de disiparla.

Figura II-8: Módulo de almacenamiento $S(w)$ y Módulo de Pérdida $L(w)$ del AMS como dispositivo de disipación de energía.

[Fuente: Elaboración Propia]

Den Hartog J. P. (1934), propone un metodología para estimar los parámetros óptimos de diseño del absorbedor (ka^{op} , ca^{op}), para la obtención de los parámetros óptimos minimizó el desplazamiento de la masa principal (x_1) considerando como excitación una fuerza de origen armónica que actúa sobre la masa principal, en la Figura II-9 se puede ver la variación del factor de amplificación dinámica del desplazamiento de la masa principal

(F.A.D. = x_1/x_{st}), donde x_1 es el desplazamiento de la masa principal debido a la acción dinámica de la fuerza excitadora y x_{st} es el desplazamiento de la masa principal si la fuerza excitadora es aplicada en forma estática, de esta figura se aprecia que independiente del nivel de amortiguamiento ξ que posea el AMS las curvas pasan por los mismos puntos (P y Q) y la condición de diseño óptimo del AMS (mínimo valor de x_1) se obtiene cuando la razón entre la frecuencia de vibración de la fuerza y la frecuencia natural de vibración del AMS son: $r^{op}=0.99$, los puntos P y Q se encuentran en $r^{op}_P=0.96$ y $r^{op}_Q=1.03$, también se puede apreciar que la razón de amortiguamiento crítico es óptimo se obtiene para $\xi^{op} = 6.09\%$, este valor corresponde al valor promedio entre $\xi^{op}_P= 6.02\%$ y $\xi^{op}_Q= 6.16\%$. Cabe mencionar que la solución propuesta por Den Hartog no considera el amortiguamiento de la estructura principal.

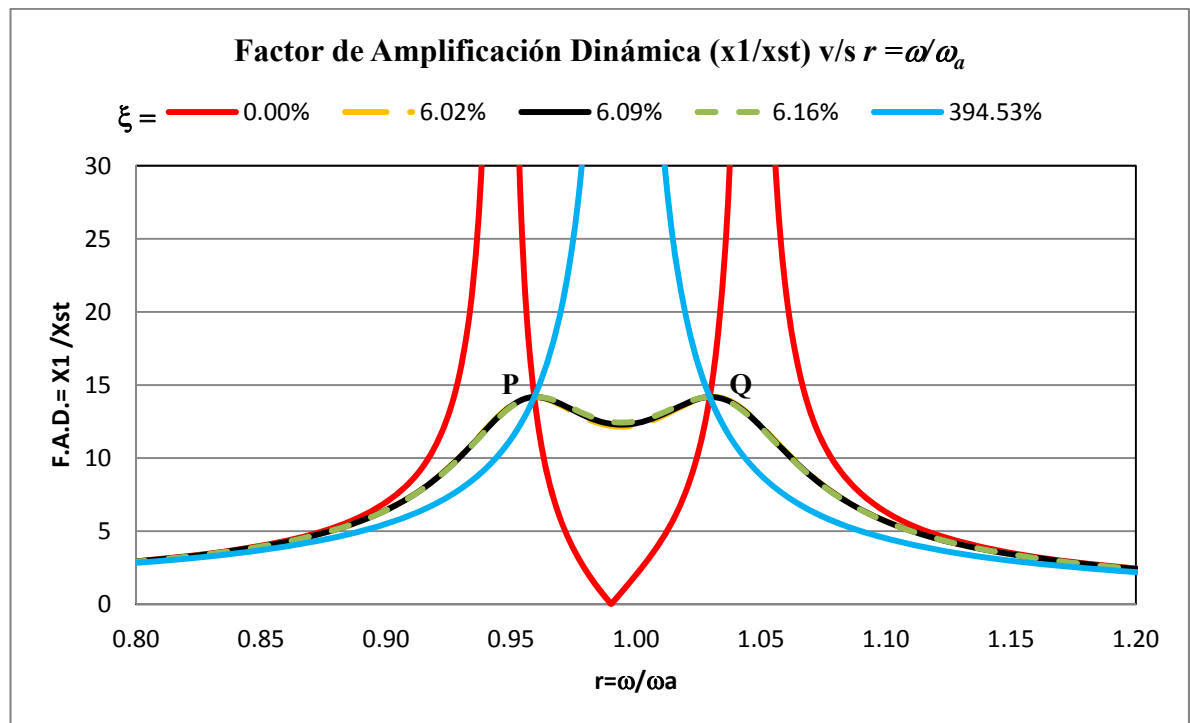


Figura II-9: Solución Óptima de Diseño del AMS propuesta por Den Hartog.
[Fuente: Elaboración Propia]

Para el caso en que la estructura posee amortiguamiento, los puntos P y Q obtenidos a partir de la metodología propuesta por Den Hartog no existen, vale decir las curvas indicadas en la Figura II-9 indicadas para distintos niveles de amortiguamiento no pasan por un mismo punto, por tanto se debe recurrir a métodos numéricos con el fin de obtener r^{op} y ξ^{op} , tal como las expresiones propuestas por Ioi e Ikeda (1978). Warbuton (1982) propone expresiones que permiten obtener los parámetros óptimos de diseño, para ello consideró excitaciones del tipo armónico, así como también, excitaciones de origen aleatorio, estas últimas permiten modelar las fuerzas inducidas por el viento en las estructuras, y de igual forma el efecto de la acción del sismo sobre las estructuras. Muchas investigaciones recientes han considerado diferentes criterios para definir los parámetros óptimos de diseño de los AMS, por ejemplo: minimizar los desplazamientos de la estructura principal, minimizar la velocidad de la estructura principal, minimizar el desplazamiento relativo entre la masa de la estructura principal y la masa del AMS, minimizar la aceleración de la estructura principal o minimizar las fuerzas en la estructura principal. Bakre y Jangid (2007) plantearon expresiones analíticas para la obtención de parámetros óptimos de AMS en estructuras amortiguadas sujetas a excitaciones de origen aleatorias. Rozas, L. (2009) propone expresiones para la obtención de parámetros óptimos de diseño, para el caso de estructuras amortiguadas sujetas a aceleraciones en su base caracterizadas como ruido blanco. Los primeros estudios realizados para estructuras con uno o más AMS, no consideraron estructuras torsionalmente acopladas. Jandig y Datta (1997) fue el primer estudio que considera reducir el efecto torsional en estructuras a partir del uso de más de un AMS con frecuencias uniformemente distribuidas, también demuestran que la efectividad de los Múltiples AMS (MAMS) en estructuras asimétricas se sobreestima si se ignora el efecto torsional. Lin *et al*, (1999) buscan obtener parámetros de diseño de 2 AMS como dispositivos de disipación de energía en edificios asimétricos de múltiples pisos, para la obtención de los parámetros de los MAMS consideró como criterio de optimización el minimizar la media cuadrática del desplazamiento del modo dominante considerando una sollicitación de origen aleatorio aplicada sobre dos ejes ortogonales. Recientemente se ha propuesto el concepto de balance torsional como un criterio de control torsional de una estructura en función de la deformación de los bordes de la planta, este concepto surge de observar que no sólo es necesario reducir los desplazamientos

laterales y torsionales, sino que también se debe reducir el grado de correlación entre ellos, es decir, minimizar la máxima varianza de deformación de entrepiso en los bordes del edificio, con el propósito de reducir el acoplamiento entre el movimiento traslacional con el movimiento rotacional de la planta logrando reducir el daño asociado al efecto torsional tal como se presenta en los trabajos Almazán y De la Llera (2009) y Almazán *et al*, (2012). De este último trabajo se destacan las siguientes conclusiones:

- i) Como regla general, el AMS debe estar ubicado en el borde cuya deformación es mayor en la condición sin control (sin AMS). Por lo tanto, en estructuras torsionalmente flexibles con pequeñas excentricidades, el AMS debe estar localizado hacia borde rígido, mientras que en estructuras con alta rigidez torsional y con excentricidad media o grande, el AMS debe ubicarse en el borde flexible.
- ii) Si la excitación es un proceso de banda ancha (típica sollicitación sísmica Chilena), el AMS debe estar sintonizado con las frecuencias asociadas a los modos con mayor masa traslacional. Sin embargo, si la excitación es un proceso de banda angosta (típica sollicitación sísmica Mexicana), el AMS debe estar sintonizado con la frecuencia característica de la excitación.

III. METODOLOGÍA

A continuación se describen los principales puntos relevantes para el desarrollo del presente trabajo.

III.1 Descripción del Edificio en Estudio

El Edificio en estudio corresponde al Edificio Santiago Norte, ubicado en el Centro Empresarial El Cortijo, comuna de Conchalí, ciudad de Santiago, Chile. El Edificio fue construido a fines de 2004 y principio de 2005, posee un subterráneo y 14 pisos destinados a oficinas, fue estructurado en base a elementos resistentes de hormigón armado: un núcleo de muros de corte dispuesto en la zona de ascensores y escaleras, losas de distintos espesores, muros de corte y pórticos compuestos por vigas y pilares de distintas dimensiones y formas. En la Figura III-1 se puede apreciar una fotografía del edificio en estudio.



Figura III-1: Fotografías Panorámicas del Edificio Santiago Norte.
[Fuente: Elaboración Propia]

Como cubierta posee cerámico tipo batuco y muro cortina en distintas fachadas.

En las Figuras III-2 y III-3 se puede apreciar las vistas frontal, trasera y lateral del edificio, de estas se observa que el edificio posee un subterráneo de mayor dimensiones que la de los pisos superiores, la caja de escaleras y la rampa de acceso al subterráneo se encuentran en la parte trasera del edificio.

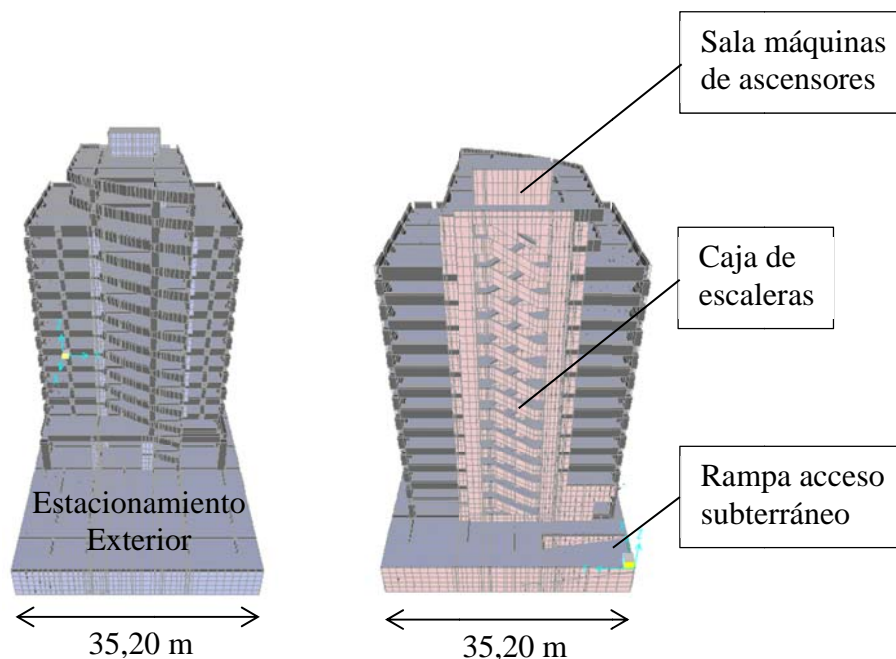


Figura III-2: Vista Frontal y Trasera del Edificio (S/E).
[Fuente: Elaboración Propia]

En las vistas laterales se puede apreciar que el marco de la fachada frontal corresponde a un eje curvo y oblicuo a los ejes resistentes principales.

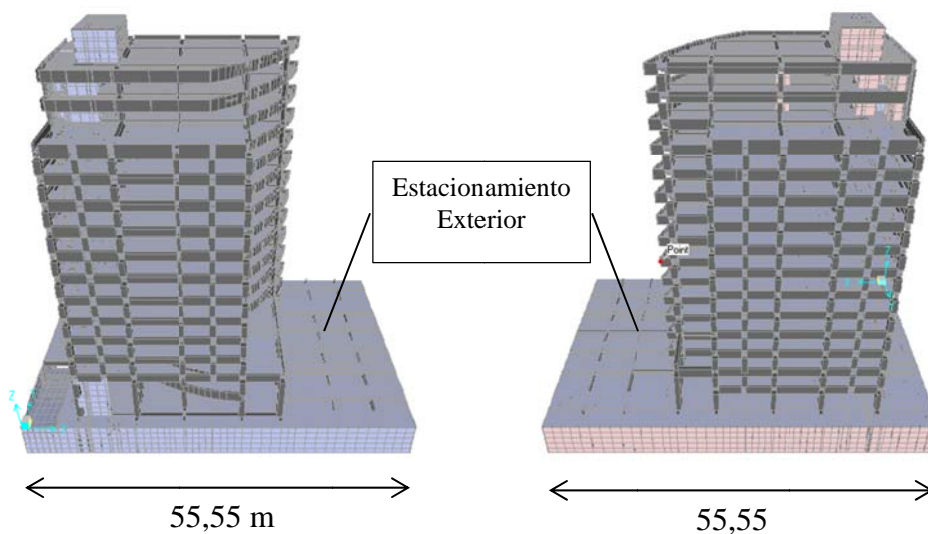


Figura III-3: Vistas Laterales del Edificio (S/E).
[Fuente: Elaboración Propia]

También se puede apreciar que los distintos pisos no poseen las mismas dimensiones en planta, a medida que se sube de nivel las dimensiones se van reduciendo, en las Figuras III-4, III-5, III-6, III-7, III-8 y III-9, se muestran las dimensiones en planta de cada cielo.

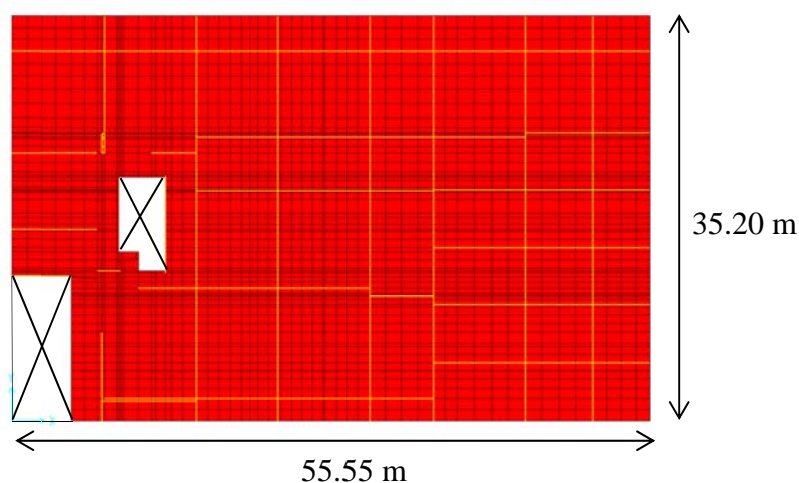


Figura III-4: Dimensiones de la Planta Cielo Subterráneo (S/E).
[Fuente: Elaboración Propia]

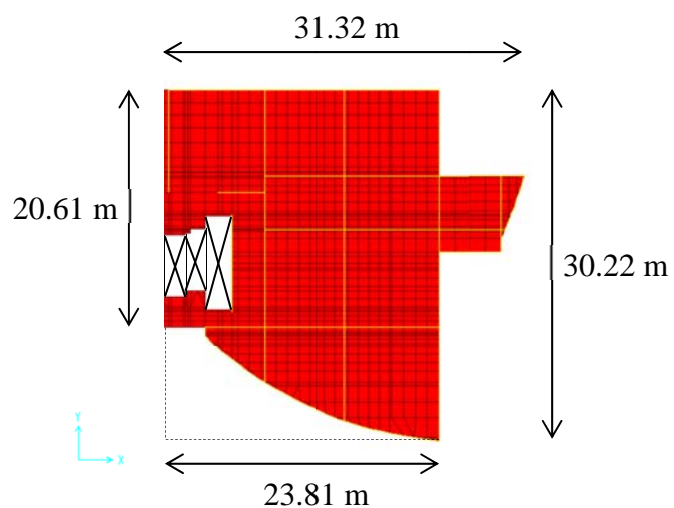


Figura III-5: Dimensiones de la Planta Cielo Primer Piso (S/E).
[Fuente: Elaboración Propia]

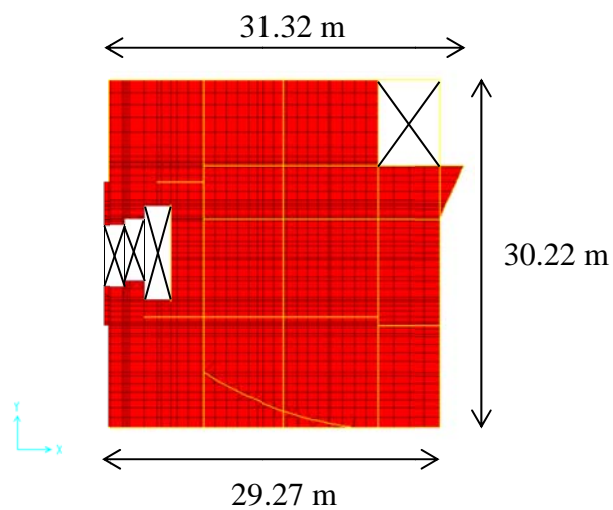


Figura III-6: Dimensiones de la Planta Cielo Segundo Piso (S/E).
[Fuente: Elaboración Propia]

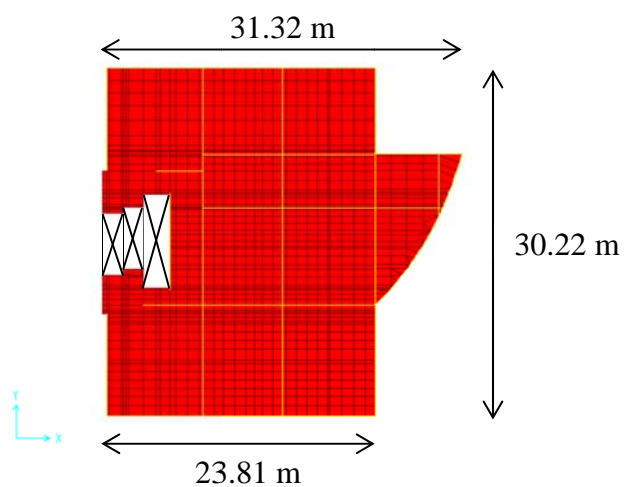


Figura III-7: Dimensiones de la Planta Cielo Piso Tipo del Tercero al Duodécimo (S/E).
[Fuente: Elaboración Propia]

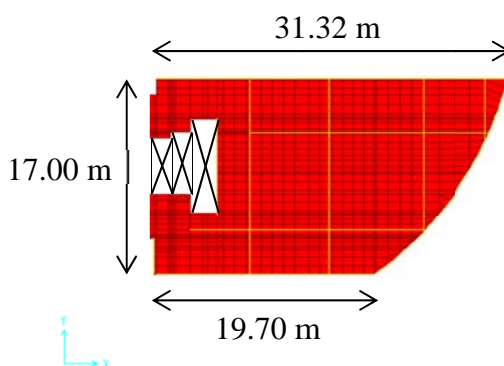


Figura III-8: Dimensiones de la Planta Cielo Piso Décimo Tercer (S/E).
[Fuente: Elaboración Propia]

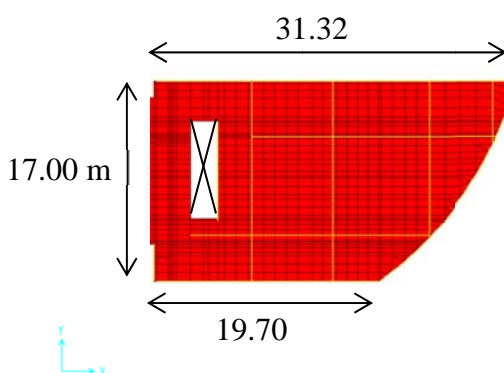


Figura III-9: Dimensiones de la Planta Cielo Piso Décimo Cuarto (S/E).
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Tabla III-1 se muestra un resumen de las alturas de entrepiso del modelo del edificio.

Tabla III-1: Alturas de Entrepiso del Modelo del Edificio.

N° Piso	Altura de Entrepiso
Subterráneo	4.88 m.
1er	4.14 m.
2do	3.35 m.
3er	3.35 m.
4to	3.35 m.
5to	3.35 m.
6to	3.35 m.
7mo	3.35 m.
8vo	3.35 m.
9no	3.35 m.
10mo	3.35 m.
11avo	3.35 m.
12avo	3.35 m.
13avo	3.35 m.
14avo	3.35 m.

[Fuente: Elaboración Propia].

III.2 Modelo Computacional del Edificio Original.

El edificio fue modelado en el software SAP2000 Versión 14.0.0. Los materiales utilizados en la construcción del edificio son: hormigón H-30 con 90 % de Nivel de confianza y Acero de Refuerzo A630-420H. En la Figura III-10 se muestran las propiedades mecánicas de los materiales ingresados al software SAP2000.

The figure shows two screenshots of the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The left dialog is for material 'H-30' (Concrete) and the right dialog is for material 'A630-420H' (Rebar).

Property	Material H-30 (Concrete)	Material A630-420H (Rebar)
Material Name and Display Color	H-30	A630-420H
Material Type	Concrete	Rebar
Weight per Unit Volume	2.5	7.849
Mass per Unit Volume	0.	0.8004
Modulus of Elasticity, E	2387519.6	21000000
Poisson's Ratio, U	0.3	0.
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05	1.170E-05
Shear Modulus, G	918276.8	0.
Specified Concrete Compressive Strength, Fc	2500.	-
Minimum Yield Stress, Fy	-	42000.
Minimum Tensile Stress, Fu	-	63000.
Expected Yield Stress, Fye	-	42000.
Expected Tensile Stress, Fue	-	63000.

Figura III-10: Propiedades Mecánica de los Materiales Utilizados Para la Modelación del Edificio.

[Fuente: Elaboración Propia].

Los elementos estructurales como vigas y pilares fueron modelados como elementos finitos unidimensionales (elementos tipo Frame) y los muros, losas y machones como elementos finitos bidimensionales (elementos tipo Shell). En la Figura III-11 se muestran como ejemplo secciones transversales de una viga de 80 cm de altura y 50 cm de base, así como también la sección transversal de un pilar de 60x55 cm de sección transversal. En la Figura III-12 se muestran como ejemplo la definición de una losa de 18 cm. de espesor y de un muro de 20 cm. de espesor.

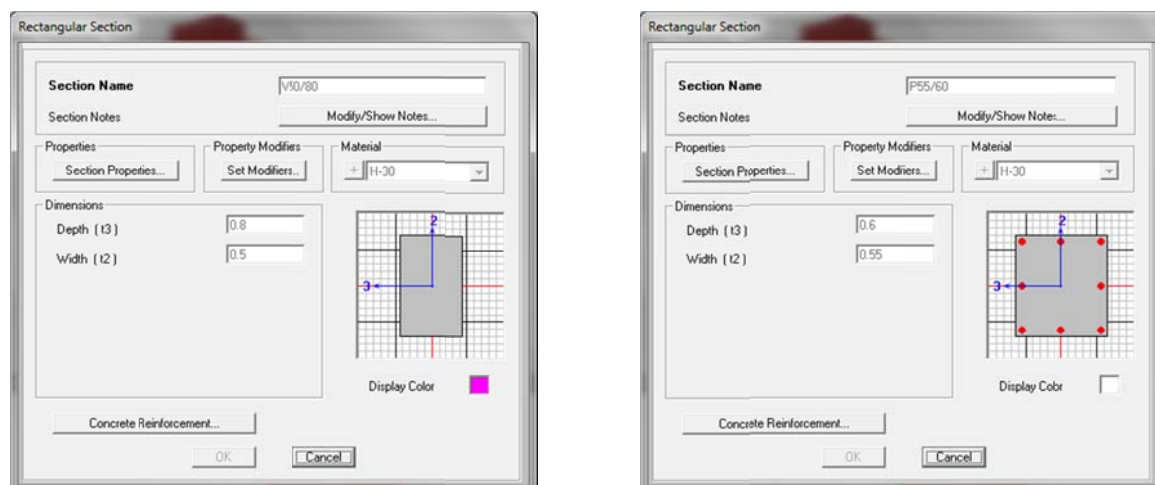


Figura III-11: Ejemplo de Secciones Transversales de Vigas y Pilares del Edificio.
[Fuente: Elaboración Propia].

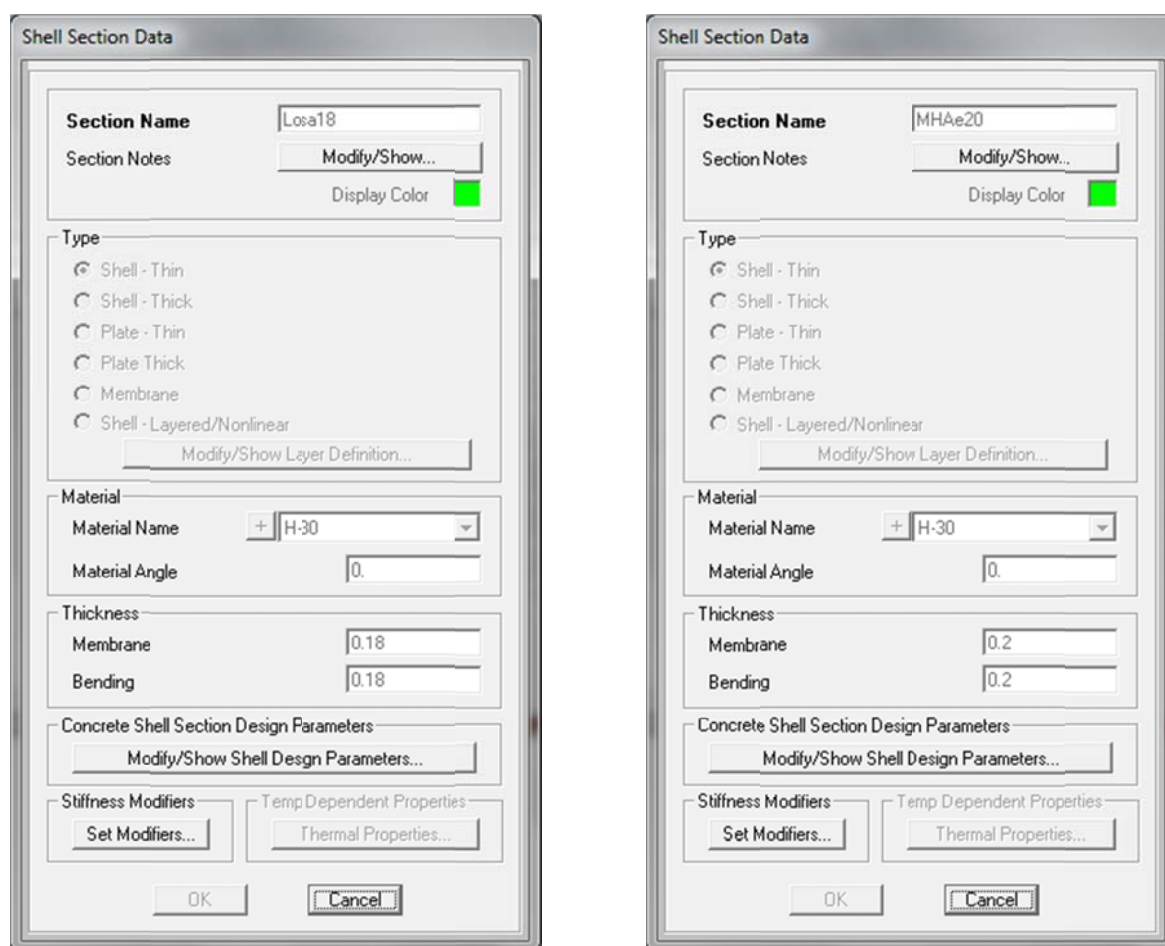


Figura III-12: Ejemplo de espesores de Losa y Muros del Edificio.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la modelación del edificio, los elementos estructurales fueron dispuestos en los ejes centroidales de los elementos, las uniones entre vigas y columnas se modelan como nudos rígidos con las dimensiones reales de los elementos resistentes que confluyen en este, las uniones entre vigas y muros dispuestos en el mismo plano se materializó colocando elementos infinitamente rígidos de modo que la zona de contacto entre la viga y el muro corresponda a las dimensiones de la viga y no se genere la unión en un solo nudo, las columnas, machones y muros del subterráneo fueron empotrados a nivel del sello de fundación.

Las cargas consideradas actuando sobre la estructura son:

- Cargas Muertas:
 - Peso propio de los elementos estructurales, $\gamma_{HA} = 2.5 \text{ ton/m}^3$.
 - Estuco, de 2.5 cm de espesor, $\gamma_{Estuco} = 2.0 \text{ ton/m}^3$.
 - Enchape tipo batuco en muros exteriores = 0.02 ton/m^2 .
 - Carga permanente en la losa piso habitable = 0.15 ton/m^2 .
 - Carga permanente en la losa azotea = 0.05 ton/m^2 .
- Cargas Vivas:
 - Sobrecarga de uso en la losa del estacionamiento = 0.50 ton/m^2 .
 - Sobrecarga de uso en la losa del piso habitable = 0.25 ton/m^2 .
 - Sobrecarga de uso en la losa de azotea = 0.10 ton/m^2 .

La masa sísmica fue definida considerando el 100% de las cargas muertas más el 25% de la sobrecarga de uso, estas masas fueron concentradas y colocadas en los centros de masa de cada nivel, las losas fueron modeladas como diafragmas infinitamente rígidos en su plano.

Del análisis dinámico del edificio original se obtuvieron los siguientes periodos naturales de vibración y porcentajes de masas modales efectivas movidas en cada modo. En la Tabla III-2 se muestra hasta el Modo N° 20, ya que en ese modo se acumula más del 90% de las masas modales efectivas, además se destacan en color rojo el modo que mueve más masa en la dirección X, en verde el modo que mueve más masa en la dirección Y y en celeste el modo que mueve más masa en la dirección torsional.

Tabla III-2: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del Edificio sin AMS.

	Estructura sin AMS			
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.1419	60.01	4.39	2.11
Modo 2	1.0373	6.55	50.43	8.85
Modo 3	0.5962	0.47	10.42	45.47
Modo 4	0.3523	9.84	1.59	0.49
Modo 5	0.3261	2.27	9.29	0.53
Modo 6	0.1996	0.50	0.52	2.81
Modo 7	0.1892	2.83	1.37	3.35
Modo 8	0.1804	0.87	5.34	2.45
Modo 9	0.1417	0.09	0.86	0.70
Modo 10	0.1256	2.29	0.08	0.00
Modo 11	0.1046	0.02	0.61	0.26
Modo 12	0.1016	0.04	2.81	3.07
Modo 13	0.0897	1.58	0.14	0.04
Modo 14	0.0777	0.02	0.40	0.20
Modo 15	0.0709	0.14	2.13	1.30
Modo 16	0.0668	1.34	0.27	0.10
Modo 17	0.0600	0.03	0.45	0.23
Modo 18	0.0544	0.37	2.07	0.38
Modo 19	0.0529	1.93	0.51	0.08
Modo 20	0.0488	0.06	0.60	0.64

[Fuente: Elaboración Propia].

III.3 Modelos Computacionales del Edificio Con AMS.

Con el fin de aprovechar la masa de la losa de azotea del edificio, dicha losa se dividió en dos partes, dado que la zona de la caja de la sala de máquinas de los ascensores no puede tener desplazamientos relativos en relación a los pisos inferiores. En la Figura III-13 se muestra la zona en la que se generó la división de la losa de azotea.

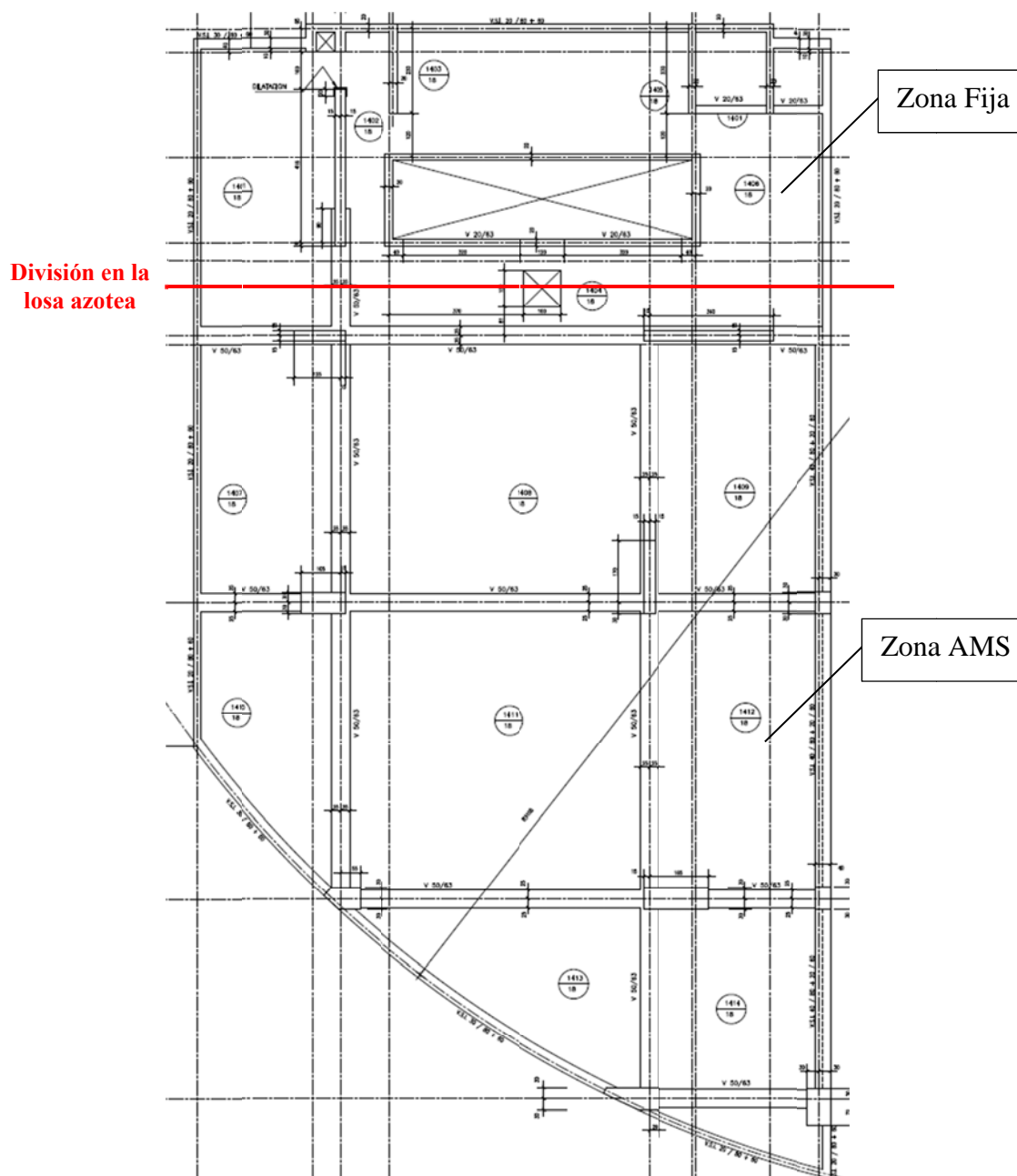


Figura III-13: División Losa Azotea Para Generación del AMS.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-14 se muestra la nueva estructuración de la losa de azotea, se destacan en color rojo los nuevos elementos estructurales.

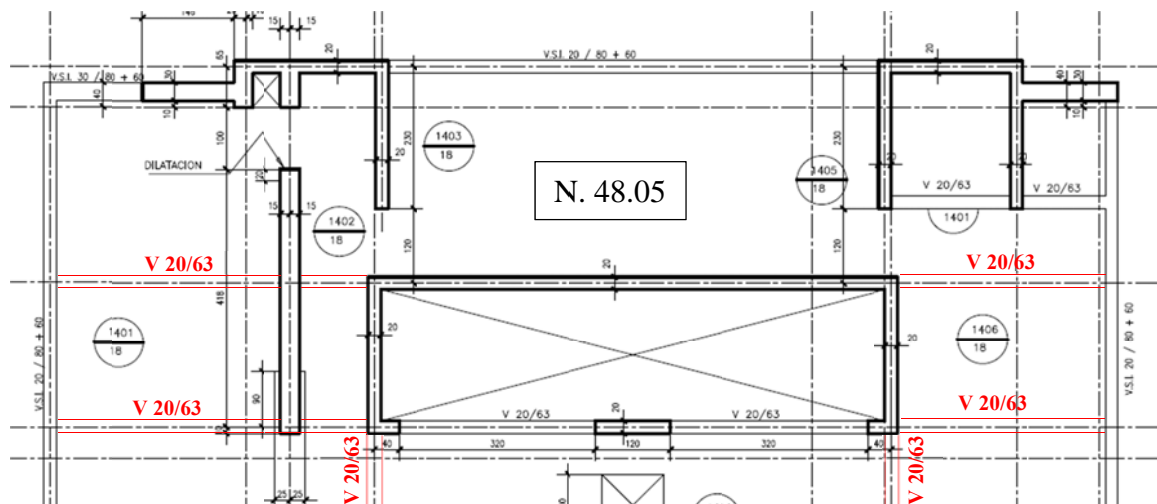


Figura III-14: Nueva Estructuración de la Zona Fija de la Losa de Azotea.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-15 se muestra la nueva estructuración para la zona en donde quedará ubicado el AMS, con el fin de generar el espacio requerido para colocar los aisladores elastoméricos y los deslizadores, se considera levantar la losa en dicha zona 120 cm en relación a la losa de azotea de la zona de la sala de máquinas de ascensores, esto es, la losa de la sala de máquinas de los ascensores quedará en el nivel N. 48.05 y la losa del AMS quedará en el nivel N. 49.25, de esta forma no se producirá una disminución de la altura de entre piso en el último piso del edificio, y de igual forma, las dos zonas de losas, sala de máquinas de ascensores y AMS, podrán moverse independientemente una de la otra. Con el fin de generar un diafragma en el nivel en donde se conectarán las bases de los aisladores a las columnas del edificio, se consideró colocar vigas V50/63 en el nivel N. 48.05, de modo de dejar todas las columnas, machones y muros amarrados en dicho nivel.

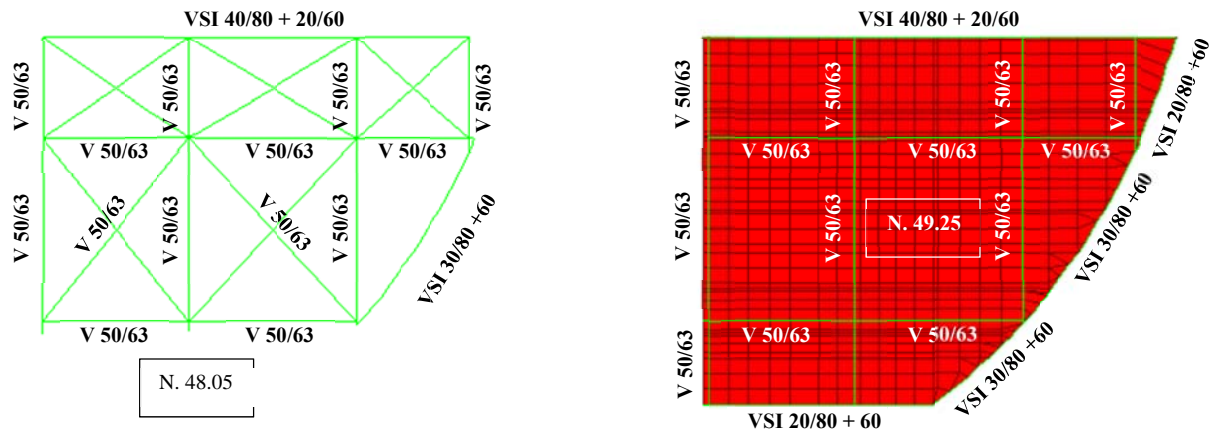


Figura III-15: Nueva Estructuración en la Zona del AMS.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-16 se aprecia la diferencia de niveles en la losa del AMS, así como también las vigas de amarre bajo la losa de AMS en el nivel N. 48.05.

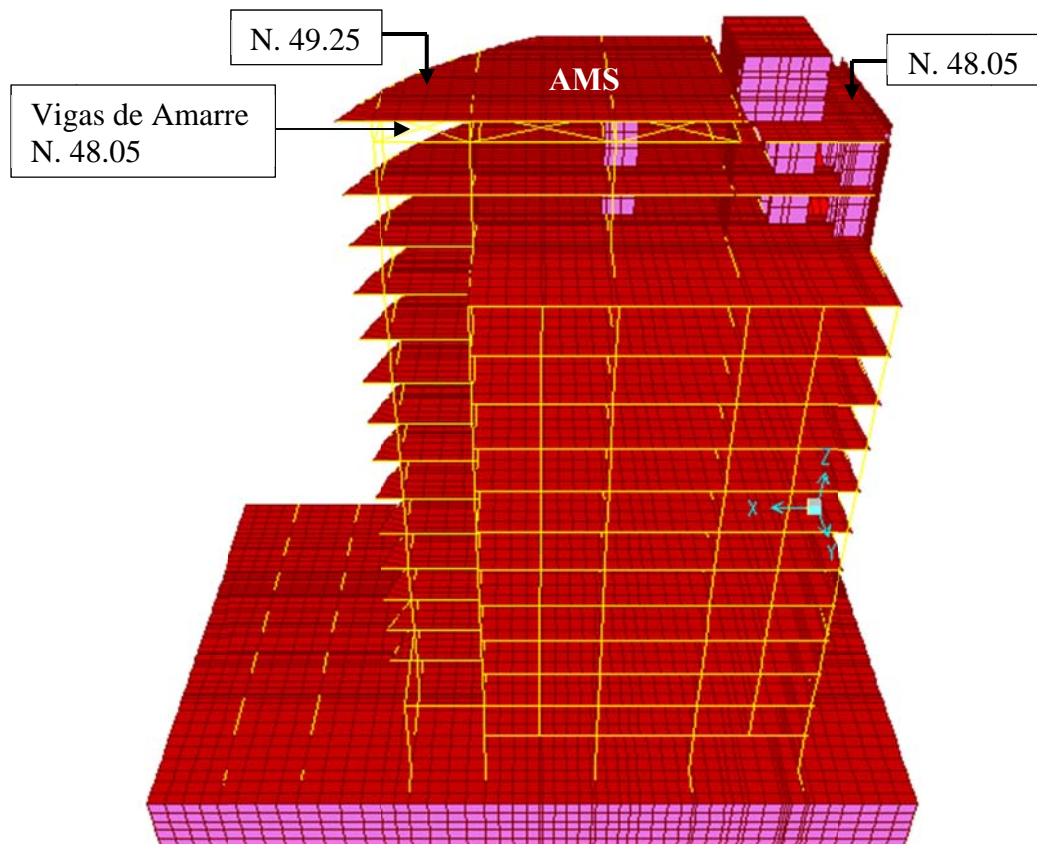


Figura III-16: Edificio con AMS.
[Fuente: Elaboración Propia].

De acuerdo a lo indicado en la Figura II-1, el AMS queda constituido por la masa (\mathbf{m}_a) que en este caso está dado por la masa de la losa más las vigas y una cierta fracción de sobrecarga de techo actuante sobre la losa. Los elementos encargados de producir las fuerzas restitutivas (\mathbf{k}_a) y las fuerzas disipativas (\mathbf{c}_a) serán aisladores elastoméricos, la ubicación de estos elementos y las características geométricas y mecánicas fueron elegidas de modo de sintonizar el AMS con las frecuencias naturales de vibración predominantes del edificio original (sin AMS).

La matriz de masa es siempre la misma independiente de la distribución y tipo de aisladores considerados, las propiedades inerciales del AMS son:

$$\mathbf{m}_a = \begin{matrix} & \begin{matrix} mx & my & m\theta \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 36.1768 & 0 & 0 \\ 0 & 36.1768 & 0 \\ 0 & 0 & 2524.583 \end{bmatrix} & \text{[ton-m-seg]} \end{matrix}$$

La masa traslacional del AMS corresponde al 2.36% de la masa traslacional del edificio.

En la Figura III-17 se muestra la distribución de aisladores y deslizadores sin fricción (puntales que solo transfieren las cargas gravitacionales) considerados para la estructuración de los AMS1-1, AMS1, AMS2-1, AMS2, AMS3, AMS4. En la Figura III-18 se muestra la distribución de aisladores considerados para la estructuración de los AMS5 y AMS6. Como se puede apreciar el AMS corresponde a un sistema de 3 gdl.

Para modelar las propiedades de los aisladores se utilizó un elemento LINK del software SAP2000 tipo LINEAR, el aislador elastomérico se considera que tendrá un comportamiento netamente elástico. Las propiedades a ingresar en la definición de dicho elemento son: la rigidez que presentará en elemento en las distintas direcciones, así como también el amortiguamiento. Para definir dichas propiedades de modo que se sintonicen las frecuencias de la estructura sin AMS con las frecuencias del AMS, se consideró generar 13 modelos distintos de AMS, para considerar distintas formas de generar la sintonía, así como también para considerar distintos niveles de amortiguamiento de modo tal de obtener la configuración que produzca la mayor cantidad de reducción en las distintas respuestas estructurales.

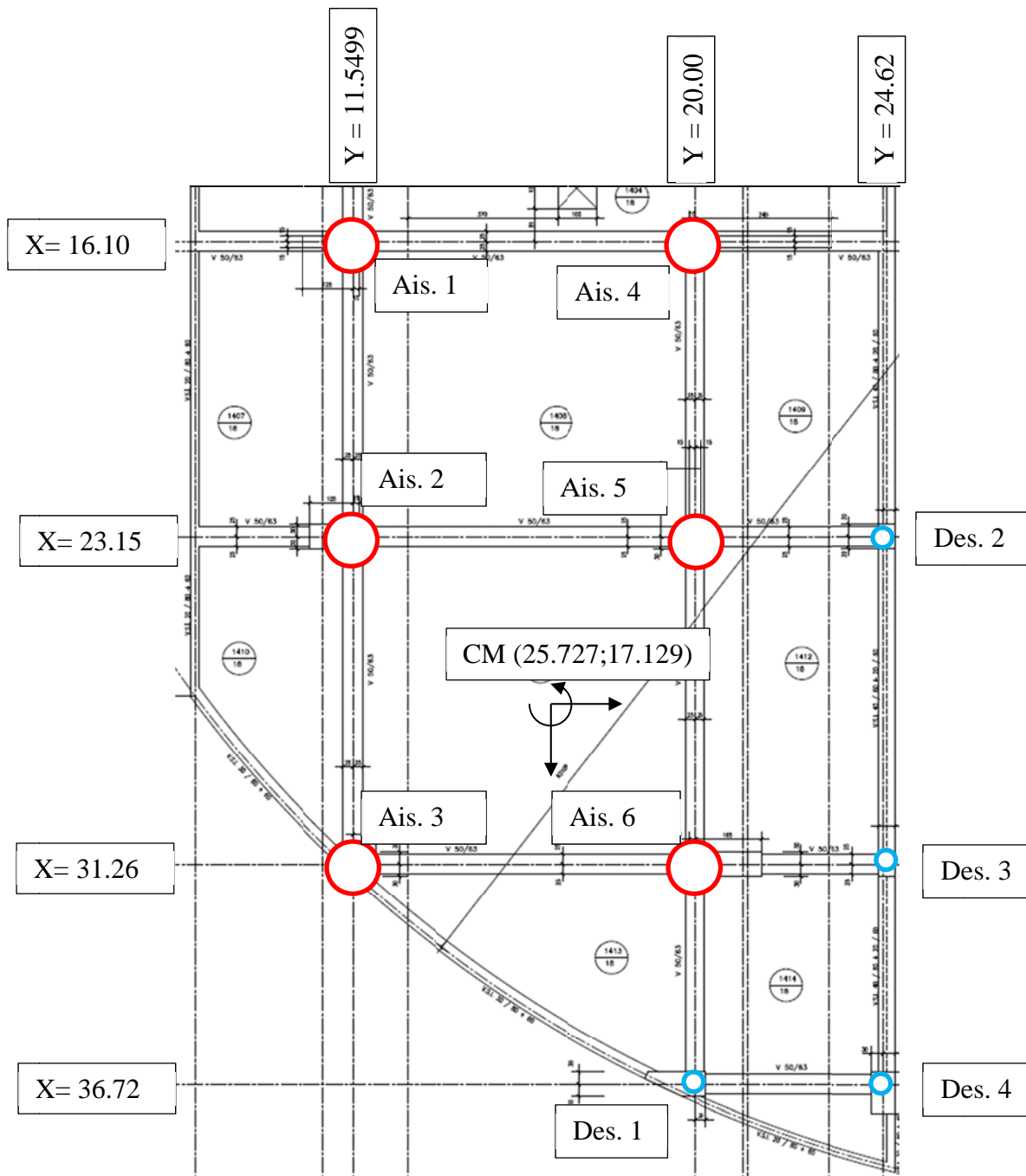


Figura III-17: Ubicación de los Aisladores Elastoméricos en la planta del AMS (modelos de AMS del 1 al 4).

[Fuente: Elaboración Propia].

Para definir las propiedades restitutivas del AMS que logren generar la sintonía entre el AMS con uno o más de los periodos de vibración natural predominante del edificio original se procedió de la siguiente forma. Si el periodo objetivo que debe tener un modo

del AMS es T_{obj} , como se conoce la masa traslacional del AMS ($m_a = m_x = m_y$), se puede obtener la rigidez total (k_a) necesaria que debe tener el conjunto de aisladores para que el AMS tenga el mismo periodo de vibración.

$$T_{obj} = 2\pi \sqrt{\frac{m_a}{k_a}}$$

Esta es una aproximación, ya que el AMS no es un sistema de un gdl, pero sirve como punto de partida para la definición final de dicha rigidez. A partir de este valor aproximado, si se considera que todos los aisladores tendrán la misma rigidez, el valor de la rigidez que debe tener cada aislador será:

$$k_{asilador} = \frac{K_a}{N^{\circ} \text{ aisladores}}$$

Este valor será la rigidez traslacional que tendrá cada uno de los elementos LINK definidos en el software SAP 2000, una vez definidos dichos valores y agregados al modelo, se fijan todos los nudos de los centros de masa del edificio, menos los del AMS, se analiza el modelo y se obtienen los periodos de vibración del AMS adosado al edificio, a partir un proceso iterativo se va corrigiendo la rigidez de los aisladores hasta que el periodo del AMS es igual al periodo de vibración objetivo T_{obj} del edificio, consiguiendo de esta forma la sintonía requerida. Del análisis dinámico se obtienen las frecuencias y periodos naturales de vibración, las formas modales del AMS. Con la matriz de masa y las formas modales se puede obtener la matriz de masa generalizada:

$$\mathbf{m}_a^* = \boldsymbol{\phi}^T * \mathbf{m}_a * \boldsymbol{\phi}$$

Donde:

\mathbf{m}_a^* = Matriz de masa generalizada del AMS.

$\boldsymbol{\phi}$ = Matriz de formas modales del AMS.

\mathbf{m}_a = Matriz de masa del AMS.

Si $\boldsymbol{\omega}^2$, se define como la matriz diagonal donde se almacenan las frecuencias naturales angulares de vibración al cuadrado del AMS, por tanto la matriz de rigidez del AMS, se obtiene:

$$\mathbf{k}_a = \boldsymbol{\phi}^{T^{-1}} * (\mathbf{m}_a^* * \boldsymbol{\omega}^2) * \boldsymbol{\phi}^{-1}$$

Con el fin de conseguir la mejor condición de diseño para el AMS que maximice la reducción de las respuestas en la estructura, se generaron 13 modelos distintos de AMS, los cuales se describirán a continuación:

- i) Modelo AMS1-1: En este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y del AMS, así como también se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección X de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección X del AMS, logrando una sintonía en ambas direcciones simultáneamente, tal como se aprecia en la Tabla III-3.

Tabla III-3: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS1-1.

AMS1-1			
T (seg)	Mx (%)	My (%)	Rz (%)
1.4160	13.35	26.79	59.86
1.1507	68.43	31.55	0.02
1.0373	18.22	41.66	40.12

[Fuente: Elaboración Propia].

La matriz de rigidez del AMS es:

$$k_a = \begin{bmatrix} 1075.12 & 0.77 & 1426.93 \\ 0.77 & 1084.14 & -2075.15 \\ 1426.93 & -2075.15 & 66933.95 \end{bmatrix} [\text{ton-m-rad}]$$

La rigidez de cada aislador será el mismo, $k_{\text{ais}} = 182.661 \text{ ton/m}$. Considerando que la razón de amortiguamiento crítico del sistema $\xi = 0.08$, luego el amortiguamiento de cada aislador será $c_{\text{ais}} = 5.844 \text{ ton/m*seg}$.

- ii) Modelo AMS1: En este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección X del AMS, tal como se aprecia en la Tabla III-4.

Tabla III-4: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS1.

AMS1			
T (seg)	Mx (%)	My (%)	Rz (%)
1.2755	13.37	26.80	59.83
1.0375	68.78	31.19	0.03
0.9352	17.85	42.01	40.14

[Fuente: Elaboración Propia].

La matriz de rigidez del AMS es:

$$k_a = \begin{bmatrix} 1321.55 & 1.17 & 1745.79 \\ 1.17 & 1335.17 & -2552.55 \\ 1745.79 & -2552.55 & 82424.74 \end{bmatrix} \text{ [ton-m-rad]}$$

La rigidez de cada aislador será el mismo, $k_{ais} = 225.529$ ton/m. Considerando que la razón de amortiguamiento crítico del sistema $\xi = 0.08$, luego el amortiguamiento de cada aislador será $c_{ais} = 5.844$ ton/m*seg.

- iii) Modelo AMS2-1: En este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección X de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección X del AMS, tal como se aprecia en la Tabla III-5.

Tabla III-5: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS2-1.

AMS2-1			
T (seg)	Mx (%)	My (%)	Rz (%)
1.4054	13.35	26.79	59.86
1.1421	68.45	31.53	0.02
1.0295	18.20	41.68	40.12

[Fuente: Elaboración Propia].

La matriz de rigidez del AMS es:

$$k_a = \begin{bmatrix} 1091.30 & 0.80 & 1448.01 \\ 0.80 & 1100.56 & -2106.48 \\ 1448.01 & -2106.48 & 67946.42 \end{bmatrix} \text{ [ton-m-rad]}$$

La rigidez de cada aislador será el mismo, $k_{ais} = 185.457$ ton/m. Considerando que la razón de amortiguamiento crítico del sistema $\xi = 0.08$, luego el amortiguamiento de cada aislador será $c_{ais} = 5.308$ ton/m*seg.

- iv) Modelo AMS2: En este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección X de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y del AMS, tal como se aprecia en la Tabla III-6.

Tabla III-6: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS2.

AMS2			
T (seg)	Mx (%)	My (%)	Rz (%)
1.5599	13.33	26.78	59.89
1.2666	68.16	31.83	0.02
1.1419	18.51	41.39	40.09

[Fuente: Elaboración Propia].

La matriz de rigidez del AMS es:

$$\mathbf{k}_a = \begin{bmatrix} 887.73 & 0.53 & 1182.42 \\ 0.53 & 893.86 & -1712.41 \\ 1182.42 & -1712.41 & 55185.64 \end{bmatrix} \text{ [ton-m-rad]}$$

La rigidez de cada aislador será el mismo, $k_{\text{ais}} = 150.315 \text{ ton/m}$. Considerando que la razón de amortiguamiento crítico del sistema $\xi = 0.08$, luego el amortiguamiento de cada aislador será $c_{\text{ais}} = 5.308 \text{ ton/m*seg}$.

- v) Modelo AMS3: En este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección θ de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección θ del AMS, tal como se aprecia en la Tabla III-7.

Tabla III-7: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS3.

AMS3			
T (seg)	Mx (%)	My (%)	Rz (%)
0.5963	13.86	27.04	59.09
0.4939	74.02	25.40	0.57
0.4436	12.11	47.55	40.33

[Fuente: Elaboración Propia].

La matriz de rigidez del AMS es:

$$\mathbf{k}_a = \begin{bmatrix} 5764.20 & 22.57 & 6942.44 \\ 22.57 & 6030.40 & -11281.64 \\ 6942.44 & -11281.64 & 372179.91 \end{bmatrix} \text{ [ton-m-rad]}$$

La rigidez de cada aislador será el mismo, $k_{\text{ais}} = 1069.193$ ton/m. Considerando que la razón de amortiguamiento crítico del sistema $\xi = 0.08$, luego el amortiguamiento de cada aislador será $c_{\text{ais}} = 10.167$ ton/m*seg.

- vi) Modelo AMS4: En este caso se consideró romper el acoplamiento entre los movimientos (X,Y y θ) del AMS, consiguiendo un AMS desacoplado en cada una de las direcciones, para este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con las frecuencias de Vibración en las 3 direcciones del AMS, tal como se aprecia en la Tabla III-8.

Tabla III-8: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS4.

AMS4			
T (seg)	Mx (%)	My (%)	Rz (%)
1.0904	0.03	0.02	99.95
1.0396	99.82	0.15	0.03
1.0342	0.15	99.83	0.02

[Fuente: Elaboración Propia].

La matriz de rigidez de este modelo se muestra a continuación.

$$\mathbf{k}_a = \begin{bmatrix} 1321.47 & 0.56 & -16.78 \\ 0.56 & 1335.13 & 17.28 \\ -16.78 & 17.28 & 83828.93 \end{bmatrix} \text{ [ton-m-rad]}$$

En este caso la rigidez de cada aislador y el amortiguamiento se describen a en la Tabla III-9:

Tabla III-9: Rigideces y Amortiguamiento de los aisladores del AMS4.

	K [ton/m]	C [ton/m*seg]
Aislador 1	190.000	4.923
Aislador 2	90.000	2.332
Aislador 3	180.000	4.664
Aislador 4	232.172	6.016
Aislador 5	90.000	2.332
Aislador 6	571.000	14.795

[Fuente: Elaboración Propia].

- vii) Modelo AMS5: En este caso se consideró colocar aisladores elastoméricos en todos los puntos de descarga, en la Figura III-18, se muestra la distribución de los aisladores, en este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y del AMS, así como también se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección X de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección X del AMS, logrando una sintonía en ambas direcciones simultáneamente. En la Tabla III-10 se puede apreciar la sintonía alcanzada.

Tabla III-10: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS5.

AMS5			
T (seg)	Mx (%)	My (%)	Rz (%)
1.1498	41.65	26.71	31.64
1.0373	39.91	60.07	0.02
0.8778	18.44	13.22	68.34

[Fuente: Elaboración Propia].

La matriz de rigidez de este modelo se muestra a continuación.

$$\mathbf{k}_a = \begin{bmatrix} 1321.46 & 0.24 & -2308.61 \\ 0.24 & 1330.95 & 1920.59 \\ -2308.61 & 1920.59 & 112258.34 \end{bmatrix} \text{ [ton-m-rad]}$$

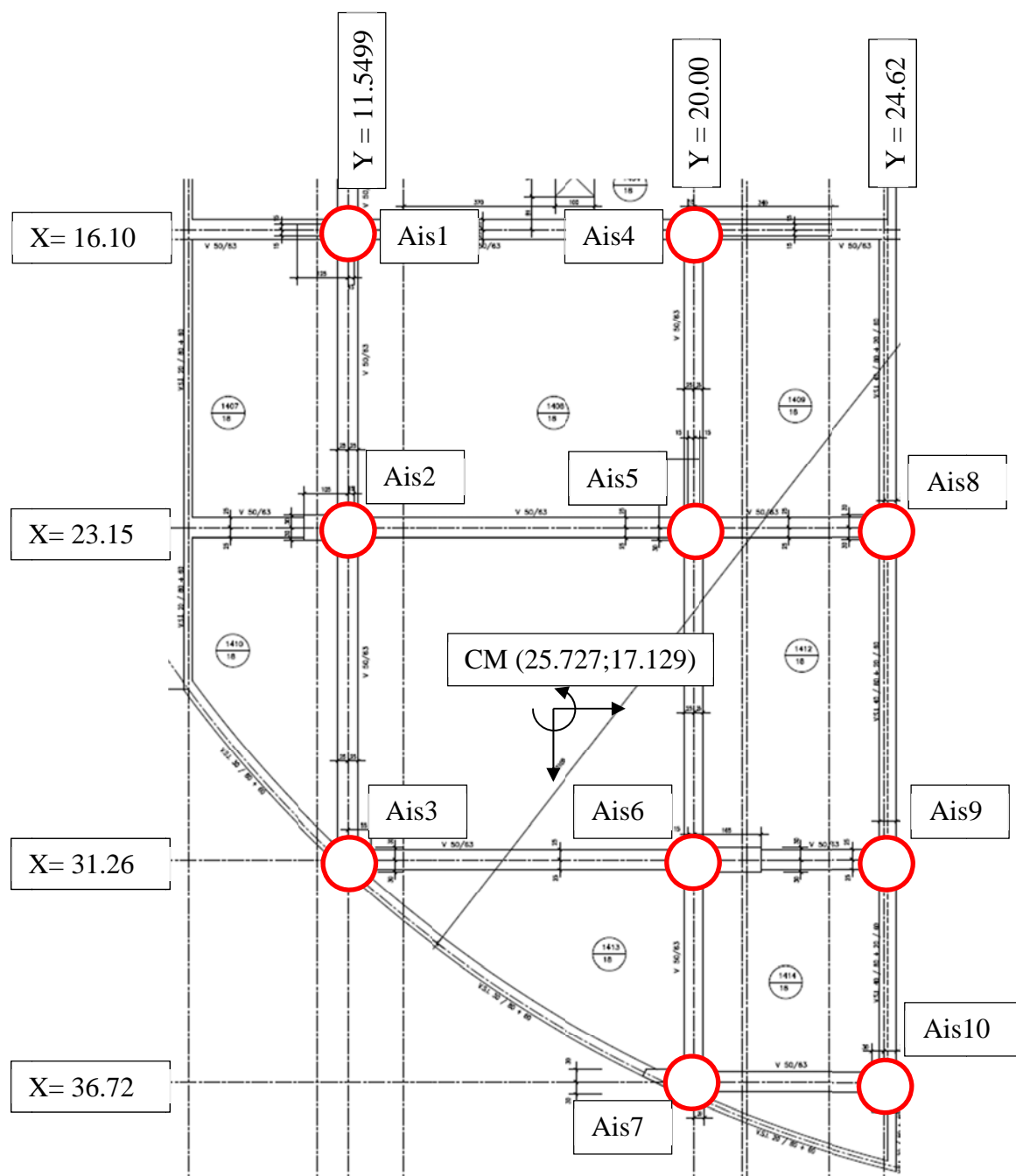


Figura III-18: Ubicación de los Aisladores Elastoméricos en la planta del AMS (modelos de AMS del 5 al 6).

[Fuente: Elaboración Propia].

En este caso la rigidez de cada aislador y el amortiguamiento se describen a en la Tabla III-11:

Tabla III-11: Rigideces y Amortiguamiento de los aisladores del AMS5.

	K [ton/m]	C [ton/m*seg]
Aislador 1	134.737	3.506
Aislador 2	134.737	3.506
Aislador 3	134.737	3.506
Aislador 4	134.737	3.506
Aislador 5	134.737	3.506
Aislador 6	134.737	3.506
Aislador 7	134.737	3.506
Aislador 8	134.737	3.506
Aislador 9	134.737	3.506
Aislador 10	134.737	3.506

[Fuente: Elaboración Propia].

- viii) Modelo AMS6: En este caso se consideró disponer los aisladores elastoméricos igual que el modelo AMS5, en la Figura III-18 se muestra la distribución de los aisladores. En este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y y dirección X del AMS, además se consideró desacoplar los movimientos (X, Y, θ) del AMS aumentando la rigidez torsional del AMS para diferenciarlo del modelo AMS4. En la Tabla III-12 se puede apreciar la sintonía alcanzada y el nivel de desacoplamiento.

Tabla III-12: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS6.

AMS6			
T (seg)	Mx (%)	My (%)	Rz (%)
1.0412	99.86	0.13	0.01
1.0362	0.13	99.86	0.01
0.9049	0.01	0.01	99.98

[Fuente: Elaboración Propia].

La matriz de rigidez de este modelo se muestra a continuación.

$$k_a = \begin{bmatrix} 1317.50 & 0.42 & -39.57 \\ 0.42 & 1330.07 & 28.05 \\ -39.57 & 28.05 & 121715.64 \end{bmatrix} \text{ [ton-m-rad]}$$

En este caso la rigidez de cada aislador y el amortiguamiento se describen a en la Tabla III-13:

Tabla III-13: Rigideces y Amortiguamiento de los aisladores del AMS6.

	K [ton/m]	C [ton/m*seg]
Aislador 1	312.37	8.129
Aislador 2	130	3.383
Aislador 3	175	4.554
Aislador 4	130	3.383
Aislador 5	100	2.602
Aislador 6	85	2.212
Aislador 7	130	3.383
Aislador 8	85	2.212
Aislador 9	70	1.822
Aislador 10	130	3.383

[Fuente: Elaboración Propia].

- ix) Modelo AMS7: En este caso se consideró colocar deslizadores sísmicos en los puntos de descarga para las cargas gravitacionales y colocar aisladores sísmicos dilatados en la dirección que actúan las cargas gravitacionales y anclados al AMS en las otras direcciones, de modo que estos provean rigidez solo en la direcciones traslacionales (X e Y), en la Figura III-19, se muestra la distribución en planta de los deslizadores sísmicos y los aisladores elastoméricos del AMS. En este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y del AMS, además se consiguió un aumento de la rigidez torsional del AMS, en relación al modelo de AMS6. En la Tabla III-14 se puede apreciar la sintonía alcanzada.

Tabla III-14: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS7.

AMS7			
T (seg)	Mx (%)	My (%)	Rz (%)
1.0934	83.06	0.05	16.88
1.0373	0.08	99.92	0.00
0.8687	16.86	0.03	83.11

[Fuente: Elaboración Propia].

La matriz de rigidez de este modelo se muestra a continuación.

$$\mathbf{k}_a = \begin{bmatrix} 1312.30 & 1.07 & -2182.48 \\ 1.07 & 1327.51 & -81.98 \\ -2182.48 & -81.98 & 123839.24 \end{bmatrix} [\text{ton-m-rad}]$$

En este caso la rigidez de cada aislador y el amortiguamiento se describen en la Tabla III-15:

Tabla III-15: Rigideces y Amortiguamiento de los aisladores del AMS7.

	K [ton/m]	C [ton/m*seg]
Aislador 1	312.37	8.129
Aislador 2	130	3.383
Aislador 3	175	4.554
Aislador 4	130	3.383
Aislador 5	100	2.602
Aislador 6	85	2.212
Aislador 7	130	3.383
Aislador 8	85	2.212
Aislador 9	70	1.822
Aislador 10	130	3.383

[Fuente: Elaboración Propia].

Para definir la fricción en los deslizadores, se utilizó la expresión propuesta Constantinou (de la Llera J.C. y Almazán J.L. (2003)):

$$\bar{\mu}(v) = \mu_{\max} - (\mu_{\max} - \mu_{\min}) * e^{-\alpha*v}$$

Donde:

$\bar{\mu}(v)$ = Coeficiente de fricción dependiente de la velocidad v.-

μ_{\min} = Coeficiente de fricción para velocidades mínima.-

μ_{\max} = Coeficiente de fricción para velocidades máxima.-

α = Coeficiente de velocidad.-

Las propiedades de los deslizadores considerados se describen a continuación:

Coeficiente de fricción para velocidades bajas, μ_{\min} : 0.05

Coeficiente de fricción para velocidades Altas, μ_{\max} : 0.10

Coeficiente de velocidad, α : 2.40 seg/m

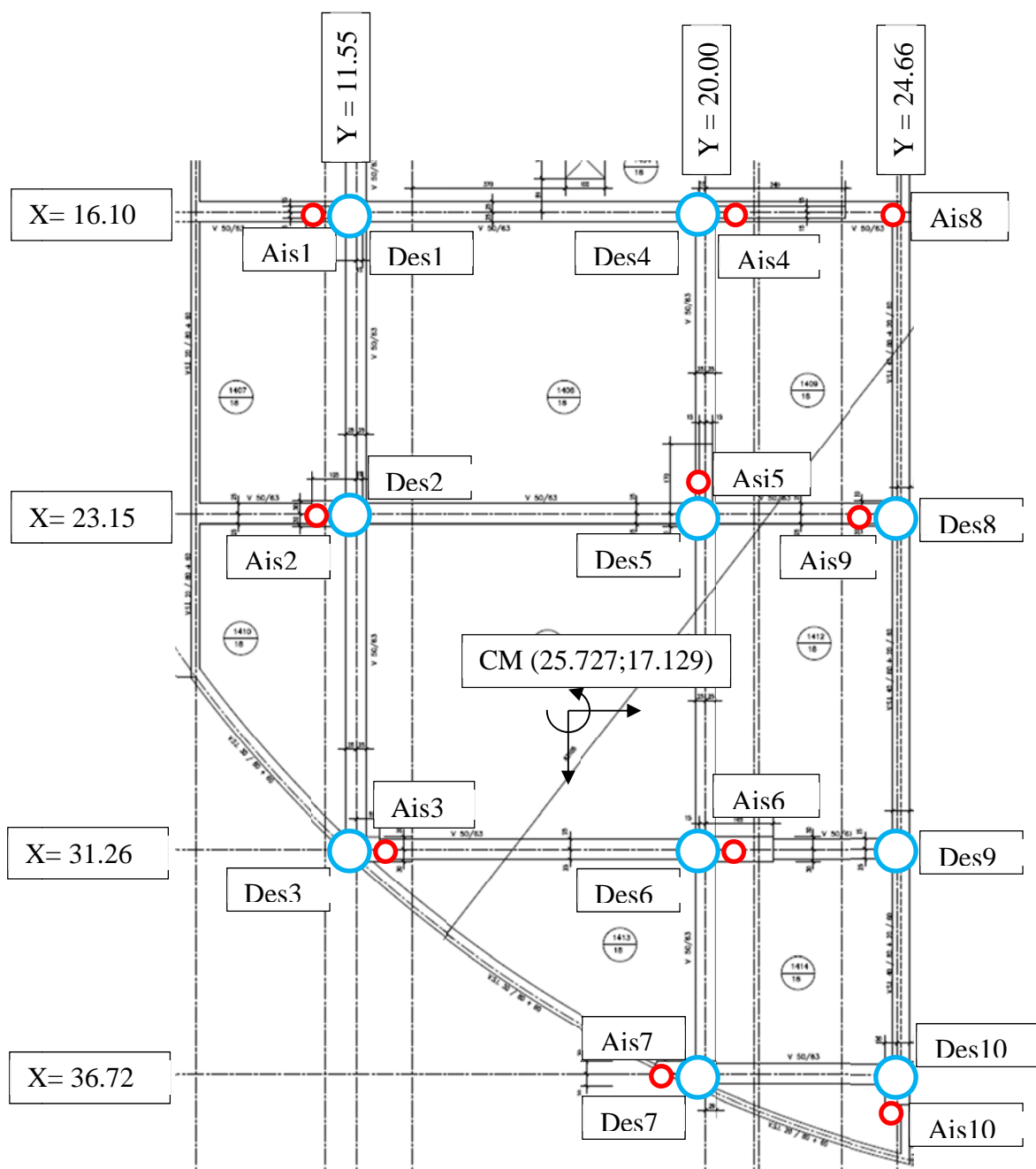


Figura III-19: Ubicación de los Aisladores Elastoméricos en la planta del AMS (modelo de AMS7).

[Fuente: Elaboración Propia].

- x) Modelo AMS8: En este caso, al igual que el modelo AMS7, se consideró colocar deslizadores sísmicos en los puntos de descarga para las cargas gravitacionales y colocar aisladores sísmicos dilatados en la dirección que actúan las cargas gravitacionales y anclados al AMS en las otras direcciones, de modo que estos provean rigidez solo en la direcciones traslacionales (X e Y), en la Figura III-20, se muestra la distribución en planta de los deslizadores sísmicos y los aisladores elastoméricos del AMS. En este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y del AMS, además se consiguió un aumento de la rigidez torsional del AMS, en relación al modelo de AMS7. En la Tabla III-16 se puede apreciar la sintonía alcanzada.

Tabla III-16: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS8.

AMS8			
T (seg)	Mx (%)	My (%)	Rz (%)
1.0536	58.12	36.49	5.39
1.0373	39.68	60.05	0.27
0.8332	2.20	3.46	94.33

[Fuente: Elaboración Propia].

La matriz de rigidez de este modelo se muestra a continuación.

$$k_a = \begin{bmatrix} 1319.80 & 1.40 & -939.61 \\ 1.40 & 1337.81 & -1150.06 \\ -939.61 & -1150.06 & 140540.21 \end{bmatrix} \text{ [ton-m-rad]}$$

En este caso la rigidez de cada aislador y el amortiguamiento se describen en la Tabla III-17:

Tabla III-17: Rigideces y Amortiguamiento de los aisladores del AMS8.

	K [ton/m]	C [ton/m*seg]
Aislador 1	227.435	5.8436
Aislador 2	227.435	5.8436
Aislador 3	227.435	5.8436
Aislador 4	227.435	5.8436
Aislador 5	227.435	5.8436
Aislador 6	227.435	5.8436

[Fuente: Elaboración Propia].

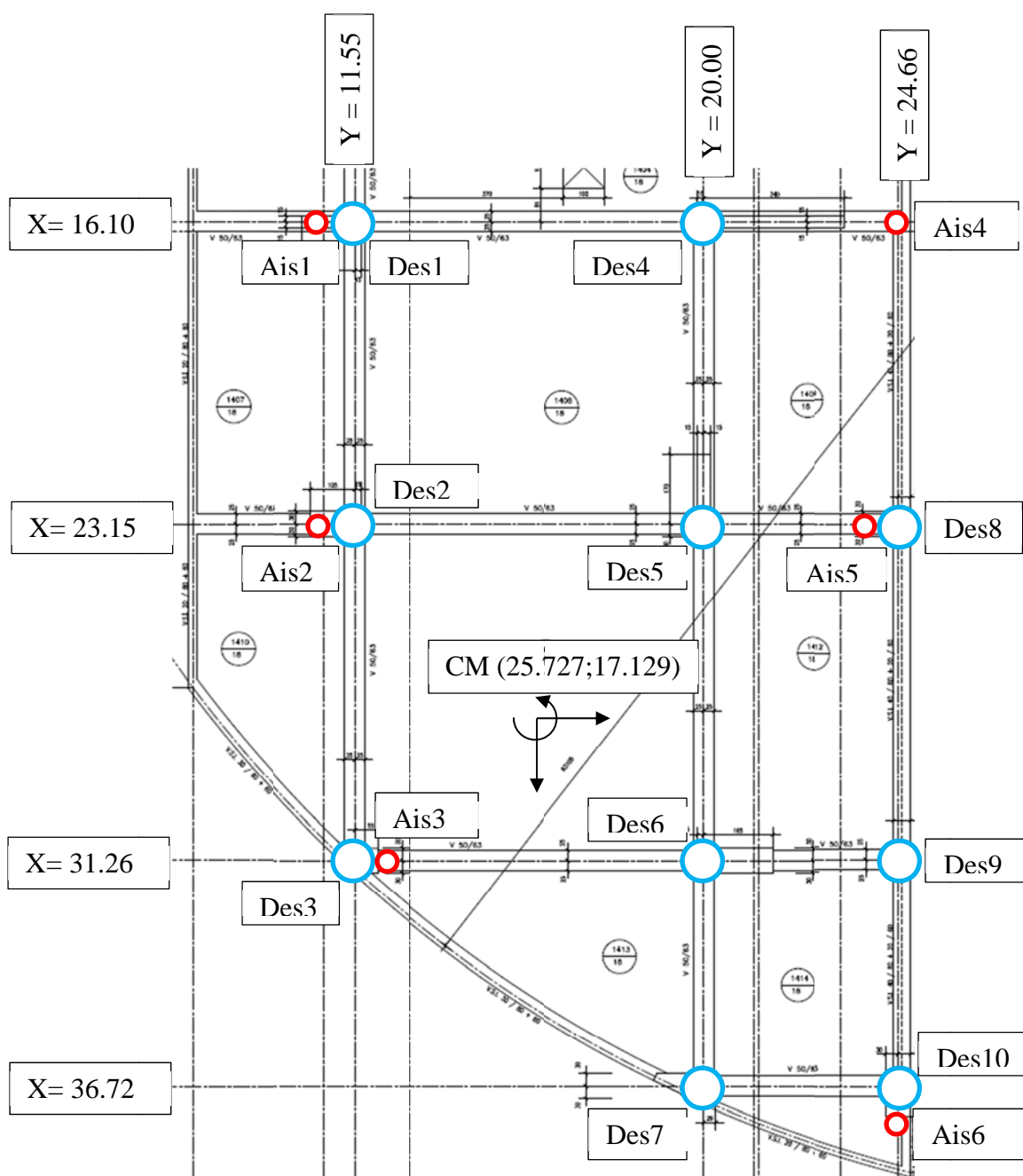


Figura III-20: Ubicación de los Aisladores Elastoméricos en la planta del AMS (modelo de AMS8).

[Fuente: Elaboración Propia].

- xi) Modelo AMS9: En este caso, al igual que el modelo AMS7 y AMS8, se consideró colocar deslizadores sísmicos en los puntos de descarga para las cargas gravitacionales y colocar aisladores sísmicos dilatados en la dirección que actúan las cargas gravitacionales y anclados al AMS en las otras

direcciones, de modo que estos provean rigidez solo en la direcciones traslacionales (X e Y), en la Figura III-21, se muestra la distribución en planta de los deslizadores sísmicos y los aisladores elastoméricos del AMS. En este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y del AMS, además se consiguió un aumento de la rigidez torsional del AMS, en relación al modelo de AMS7 y AMS8. En la Tabla III-18 se puede apreciar la sintonía alcanzada.

Tabla III-18: Periodos y Masas Modales Efectivas por Modo del AMS9.

AMS9			
T (seg)	Mx (%)	My (%)	Rz (%)
1.0454	98.08	0.26	1.66
1.0373	0.28	99.72	0.00
0.7406	1.65	0.02	98.34

[Fuente: Elaboración Propia].

La matriz de rigidez de este modelo se muestra a continuación.

$$k_a = \begin{bmatrix} 1328.36 & 1.15 & -1377.93 \\ 1.15 & 1327.49 & -142.19 \\ -1377.93 & -142.19 & 180201.10 \end{bmatrix} \text{ [ton-m-rad]}$$

En este caso la rigidez de cada aislador y el amortiguamiento se describen en la Tabla III-19:

Tabla III-19: Rigideces y Amortiguamiento de los aisladores del AMS9.

	K [ton/m]	C [ton/m*seg]
Aislador 1	227.5304	5.8436
Aislador 2	227.5304	5.8436
Aislador 3	227.5304	5.8436
Aislador 4	227.5304	5.8436
Aislador 5	227.5304	5.8436
Aislador 6	227.5304	5.8436

[Fuente: Elaboración Propia].

Con el fin de conseguir distintos niveles de amortiguamiento para el AMS9, se consideró generar otros dos modelos que poseen la misma distribución de aisladores manteniendo sus propiedades de rigidez y amortiguamiento y la misma distribución de deslizadores, pero con distintas propiedades de roce.

Las propiedades de los deslizadores considerados en el modelo AMS9-1, el cual posee un menor nivel de amortiguamiento provista por los deslizadores que el modelo AMS9, a continuación se indican las propiedades:

Coeficiente de fricción para velocidades bajas, μ_{\min}	:	0.05
Coeficiente de fricción para velocidades Altas, μ_{\max}	:	0.08
Coeficiente de velocidad, α	:	2.40 seg/m

Las propiedades de los deslizadores considerados en el modelo AMS9-2, el cual posee un mayor nivel de amortiguamiento provista por los deslizadores que el modelo AMS9, a continuación se indican las propiedades:

Coeficiente de fricción para velocidades bajas, μ_{\min}	:	0.05
Coeficiente de fricción para velocidades Altas, μ_{\max}	:	0.12
Coeficiente de velocidad, α	:	2.40 seg/m

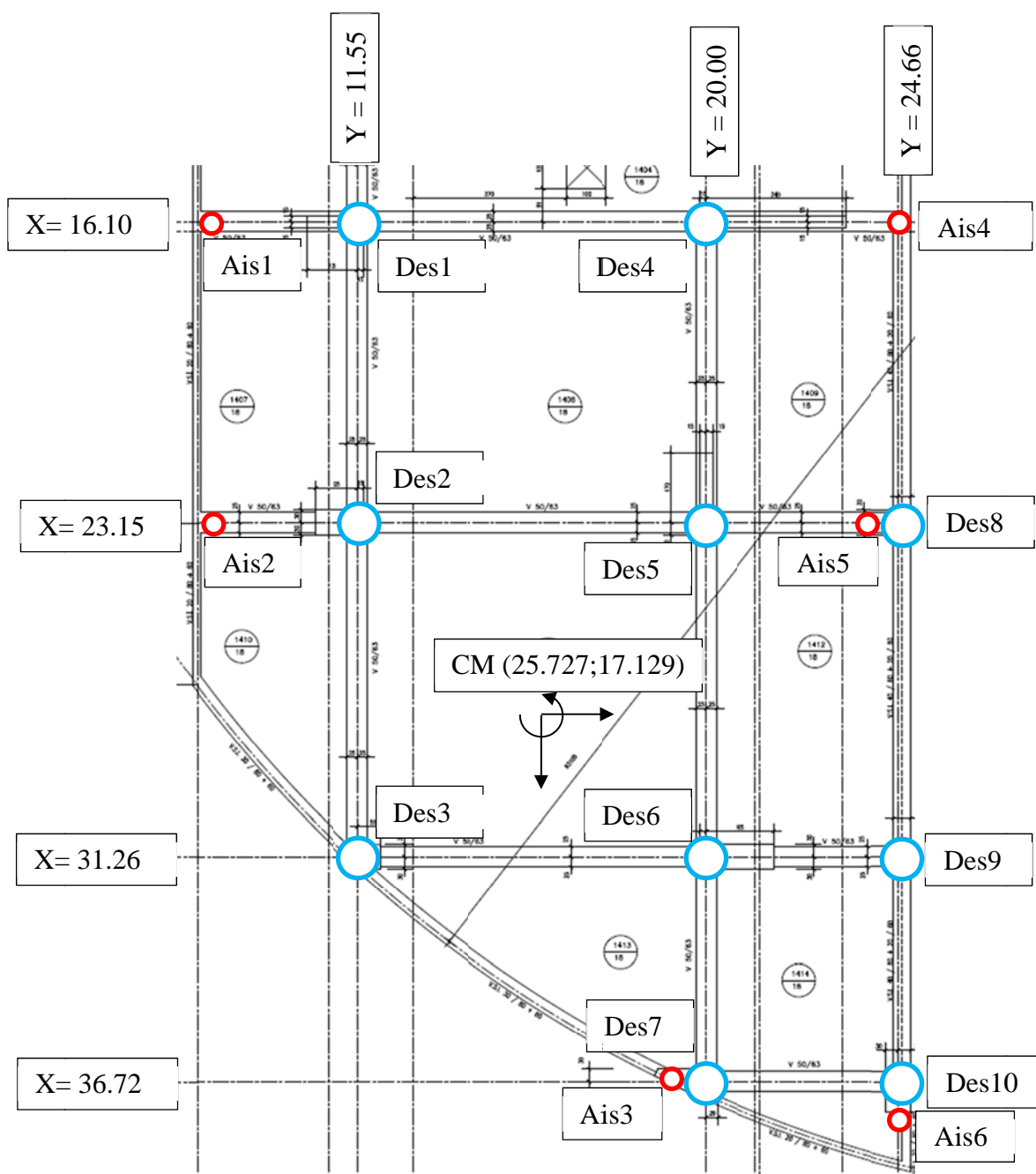


Figura III-21: Ubicación de los Aisladores Elastoméricos en la planta del AMS (modelo de AMS9).

[Fuente: Elaboración Propia].

Los aisladores elastoméricos fueron modelados en el software SAP2000 utilizando el elemento LINK “LINEAR”, en la Figura III-22 se muestra a modo de ejemplo la definición de las propiedades de los aisladores elastoméricos para el modelo AMS9.-

The image displays two dialog boxes from the SAP2000 software used for defining the properties of elastomeric isolators as a LINK LINEAR element.

Link/Support Property Data Dialog:

- Link/Support Type:** Linear
- Property Name:** LIN1
- Total Mass and Weight:** Mass: 0, Weight: 0, Rotational Inertia 1: 0, Rotational Inertia 2: 0, Rotational Inertia 3: 0.
- Factors For Line, Area and Solid Springs:** Property is Defined for This Length In a Line Spring: 1, Property is Defined for This Area In Area and Solid Springs: 1.
- Directional Properties:** A table with columns for Direction (U1, U2, U3, R1, R2, R3) and Fixed. U2 and U3 are checked. Buttons for 'Fix All', 'Clear All', 'Properties', and 'Modify/Show for All...' are present.
- P-Delta Parameters:** Advanced... button.
- Buttons:** OK, Cancel.

Linear Link/Support Directional Properties Dialog:

- Link/Support Name:** LIN1
- Directional Control:** A table with columns for Direction (U1, U2, U3, R1, R2, R3) and Fixed. U2 and U3 are checked.
- Stiffness Values Used For All Load Cases:**
 - Stiffness Is Uncoupled (Selected):** U1: [], U2: 227.5304, U3: 227.5304, R1: [], R2: [], R3: []
 - Stiffness Is Coupled:** []
- Damping Values Used For All Load Cases:**
 - Damping Is Uncoupled (Selected):** U1: [], U2: 5.8436, U3: 5.8436, R1: [], R2: [], R3: []
 - Damping Is Coupled:** []
- Shear Distance from End J:** U2: 0, U3: 0.
- Units:** Torf, m, C
- Buttons:** OK, Cancel.

Figura III-22: Definición de los aisladores elastoméricos como elemento LINK LINEAR en software SAP2000 (modelo de AMS9).

[Fuente: Elaboración Propia].

Los deslizadores fueron modelados en el software SAP2000 utilizando el elemento LINK “FRICTION ISOLATOR”, se consideró un radio de curvatura grande para el caso del deslizador, en la Figura III-23 se muestra a modo de ejemplo la definición de las propiedades del deslizador para el modelo AMS9.-

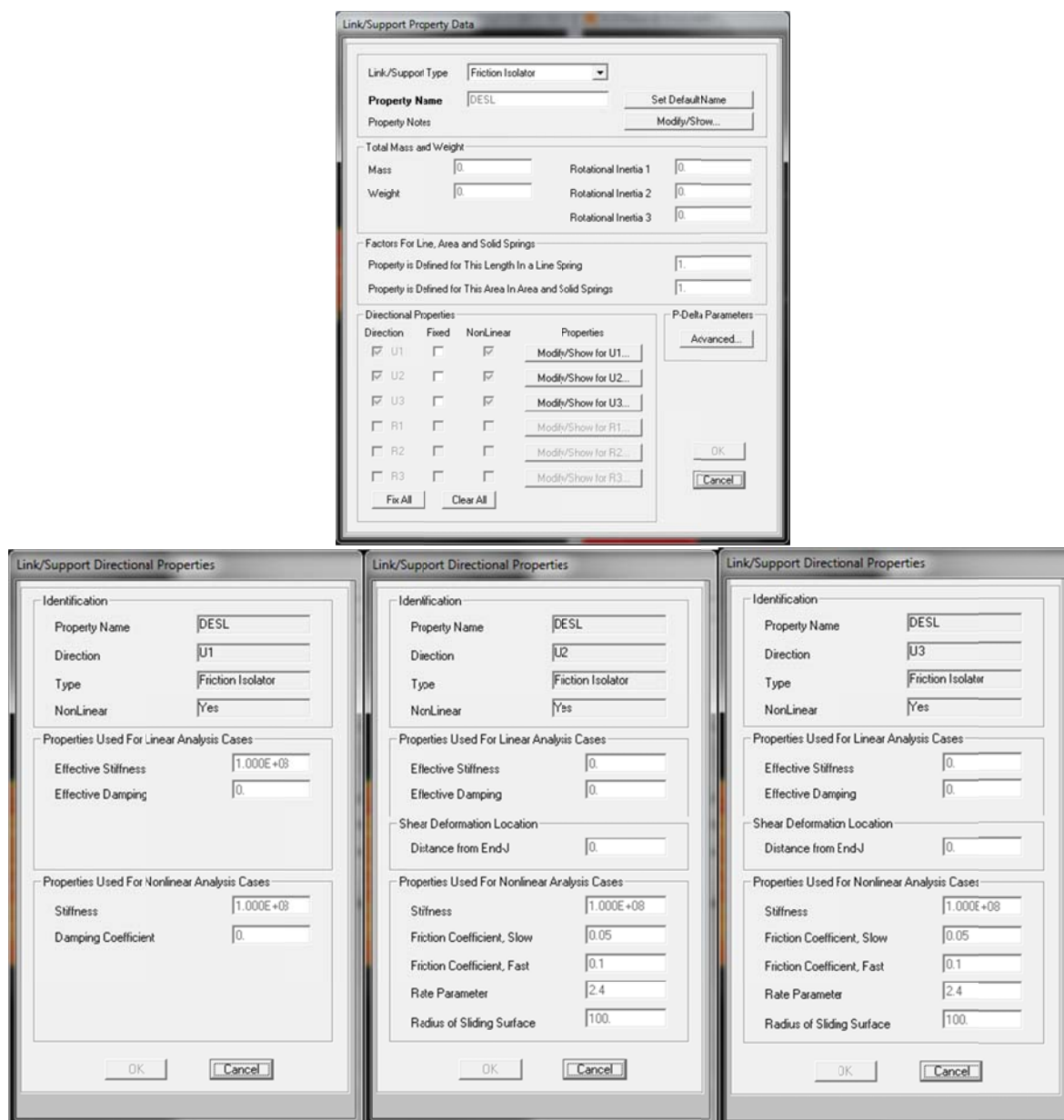


Figura III-23: Definición de los deslizadores como elemento LINK FRICTION ISOLATOR en software SAP2000 (modelo de AMS9).
[Fuente: Elaboración Propia].

III.4 Definición de la Acción Sísmica.

Para la realización de los análisis sísmicos en el modelo original y en los modelos con AMS, se generaron registros sísmicos artificiales compatibles con el espectro de diseño de la norma NCh2745 Of 2003 considerando las propiedades del suelo del lugar de emplazamiento del edificio, para la construcción del espectro de diseño se consideró zona sísmica 2 (Santiago) y suelo tipo III (según planos de estructuras), $R = 1$; $I = 1$; $Z = 1$.

Para esto se generó un set de 3 pares (direcciones ortogonales) de registros sísmicos artificiales compatibles con el espectro de diseño de la Nch 2745 Of 2003. Los registros semillas considerados corresponden a las historias de aceleraciones horizontales registradas en el terremoto del 3 de Marzo del año 1985 ocurrido en Chile central en las estaciones de Llolleo y Viña del Mar (Magnitud 8.0 Mw), así como también el registro de aceleraciones de la estación de Llolleo obtenida durante el terremoto del 27 de Febrero del año 2010 ocurrido en la zona sur de Chile (Magnitud 8.8 Mw), obtenidos de RENADIC de la Universidad de Chile.

En la Figura III-24 se muestra el registro semilla asociado a la componente horizontal Llolleo 100-2010, registrado en la estación sismográfica de Llolleo durante el terremoto del 27 de Febrero de 2010.

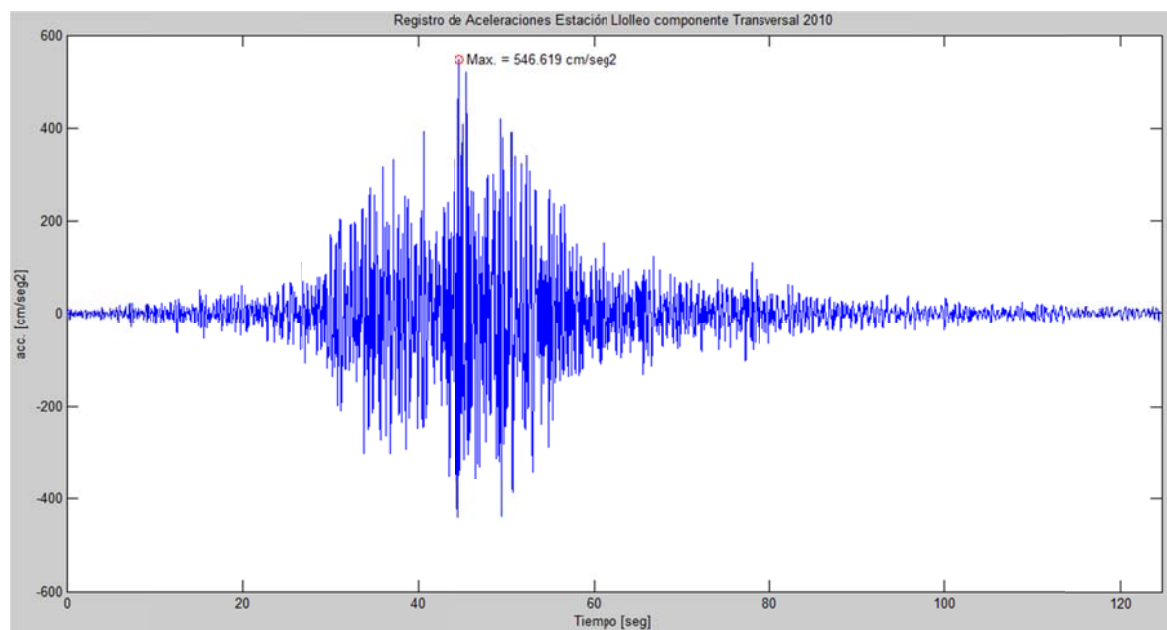


Figura III-24: Registro Semilla Componente Llolleo 100-2010.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-25 se muestra el registro artificial compatible con el espectro de diseño de la Nch2745 Of 2003, basado en el registro semilla de la componente horizontal Llolleo 100-2010.

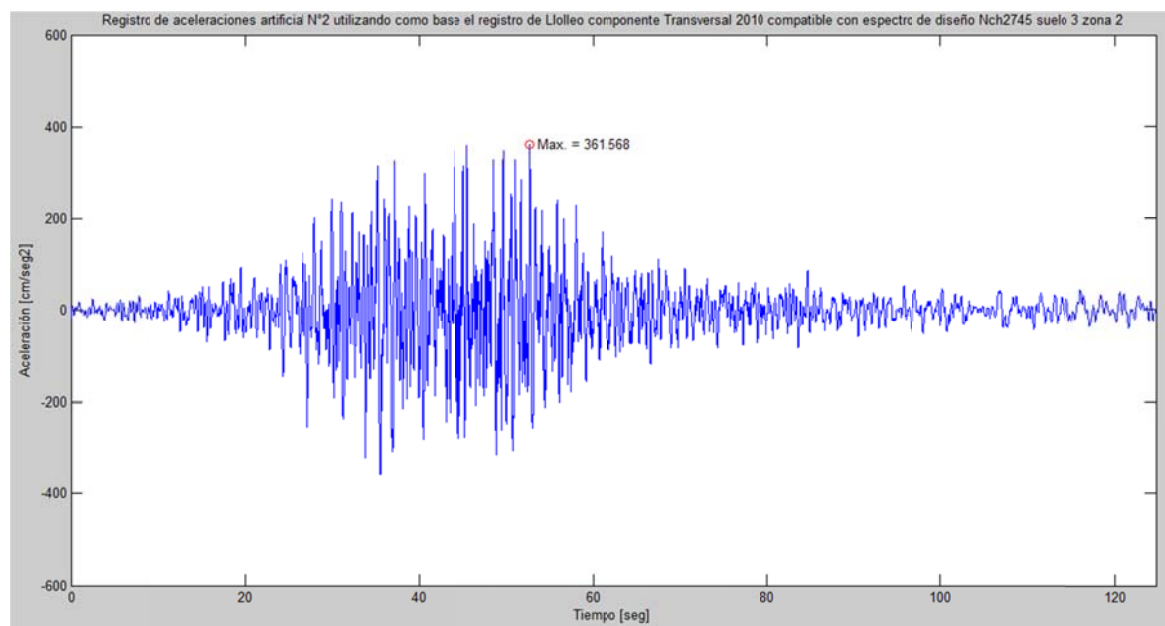


Figura III-25: Registro Artificial de la Componente Llolleo 100-2010.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-26, se muestra en color azul el espectro de diseño de aceleraciones de la Nch2745 Of 2003, la curva en color rojo, corresponde al espectro de respuesta de aceleraciones del registro artificial de la componente Llolleo 100-2010, en esta figura además se puede apreciar el nivel de ajuste entre el espectro objetivo y el espectro calculado a partir del registro artificial.

En la Figura III-27, se muestra en color azul el espectro de diseño de desplazamiento de la Nch2745 Of 2003, la curva en color rojo, corresponde al espectro de respuesta de desplazamiento del registro artificial de la componente Llolleo 100-2010, en esta figura además se puede apreciar el nivel de ajuste entre el espectro objetivo y el espectro calculado a partir del registro artificial, el ajuste es bastante bueno hasta periodos de 2 segundos.

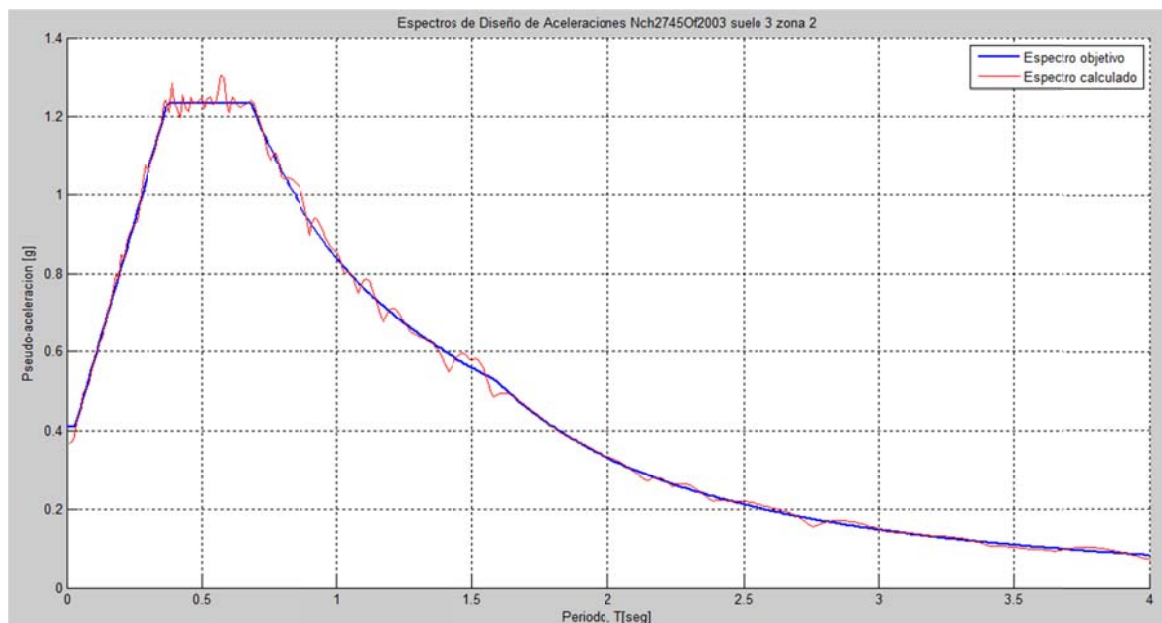


Figura III-26: Espectro de Diseño de Aceleración de la Nch 2745 of 2003 (Componente Lollole 100-2010).
[Fuente: Elaboración Propia].

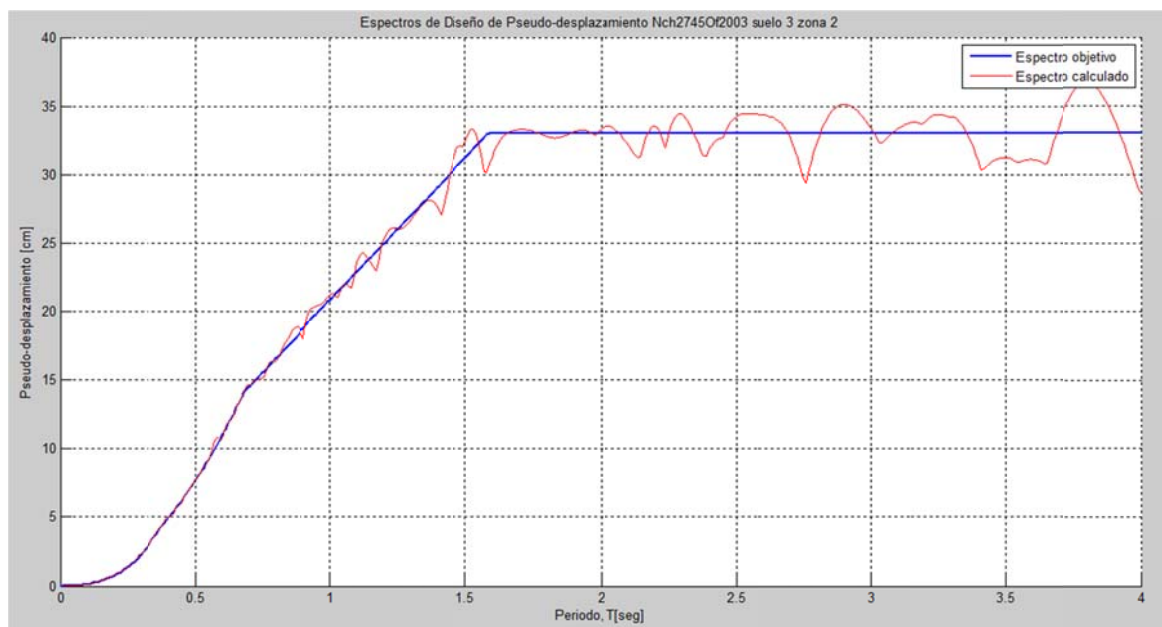


Figura III-27: Espectro de Diseño de Desplazamiento de la Nch 2745 of 2003 (Componente Lollole 100-2010).

[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-28, se muestra el espectro de Fourier del registro artificial, en la Figura III-29 se muestra el espectro de Fourier del registro artificial para el tramo de frecuencias entre 0 y 5 Hertz, en ambos se puede apreciar el contenido de frecuencias del registro

artificial, en la Figura III-29 se puede apreciar además las frecuencias naturales de vibración del edificio en estudio sin AMS de los modos que arrastran mayor masa modal efectiva en las direcciones X e Y.

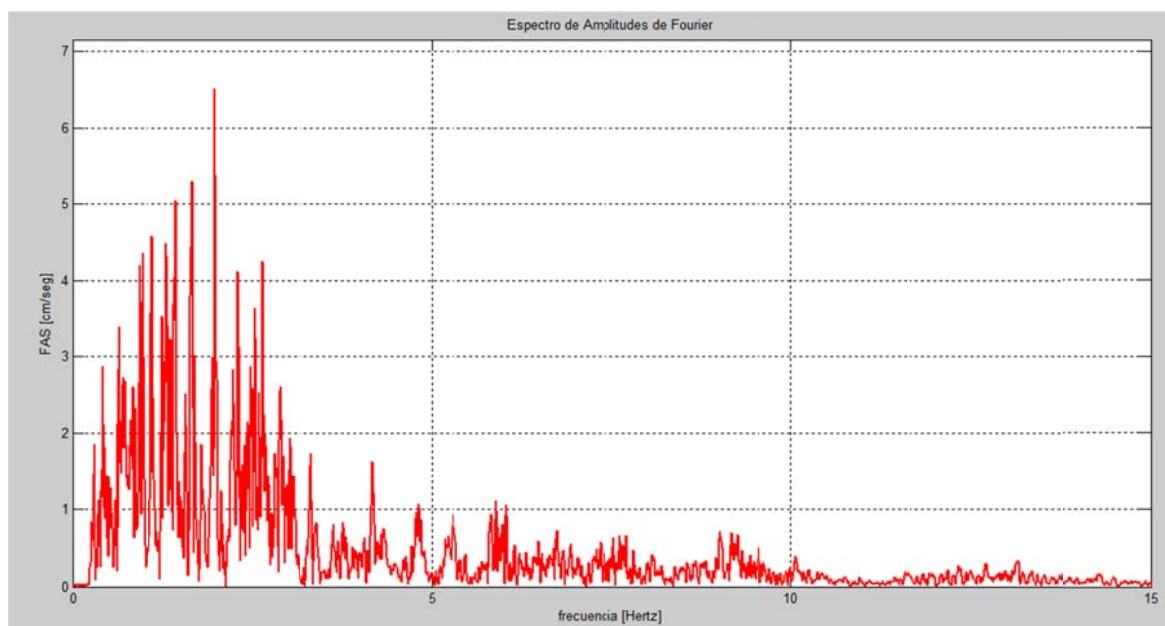


Figura III-28: Espectro de Amplitudes de Fourier del Registro Artificial Componente Llolleo 100-2010.

[Fuente: Elaboración Propia].

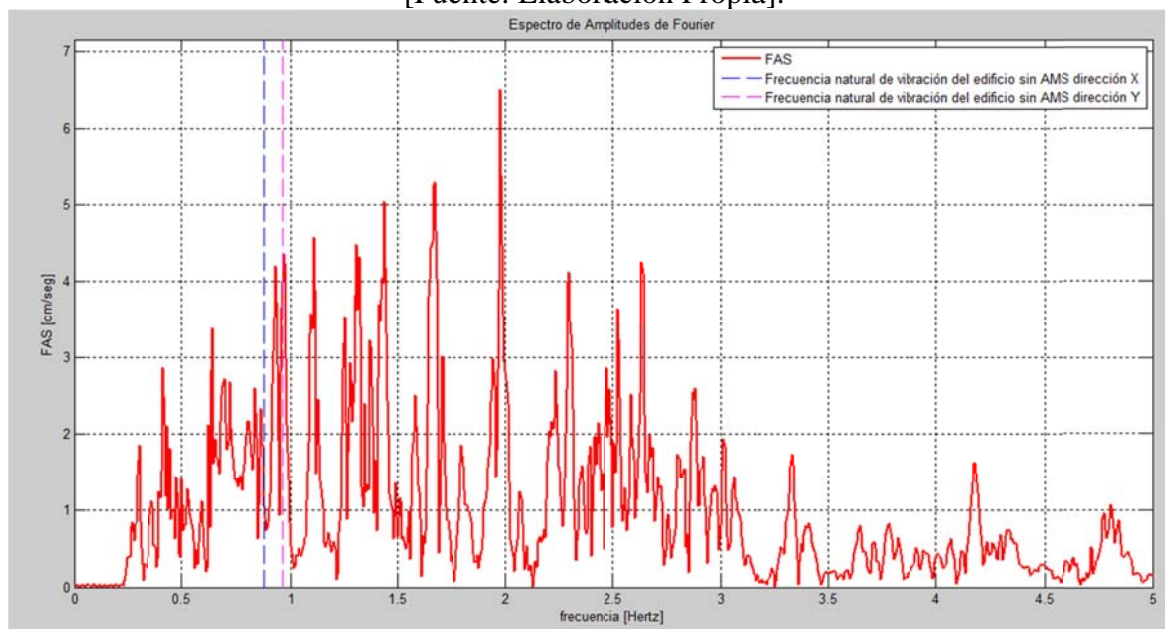


Figura III-29: Espectro de Amplitudes de Fourier Ampliado del Registro Artificial Componente Llolleo 100-2010.

[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-30, se muestra la Intensidad de Arias del registro artificial, la duración significativa del registro y el potencial destructivo del registro artificial.-

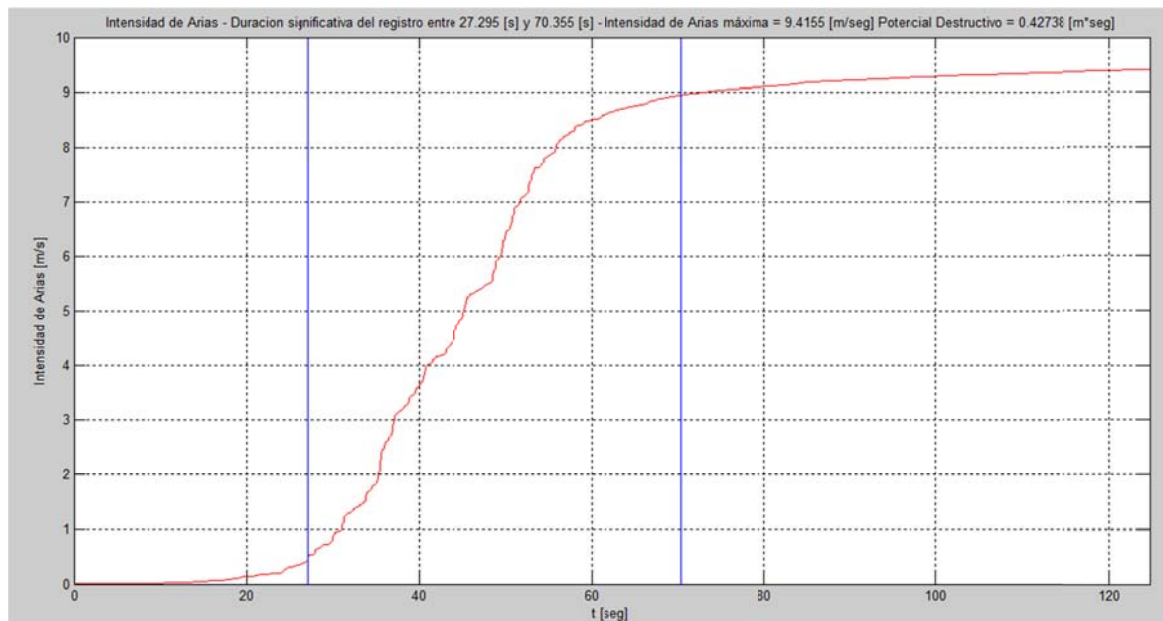


Figura III-30: Intensidad de Arias del Registro Artificial Componente Llolleo 100-2010. [Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-31 se muestra el registro semilla asociado a la componente horizontal Llolleo 10-2010, registrado en la estación sismográfica de Llolleo durante el terremoto del 27 de Febrero de 2010.

En la Figura III-32 se muestra el registro artificial compatible con el espectro de diseño de la Nch2745 Of 2003, basado en el registro semilla de la componente horizontal Llolleo 10-2010.

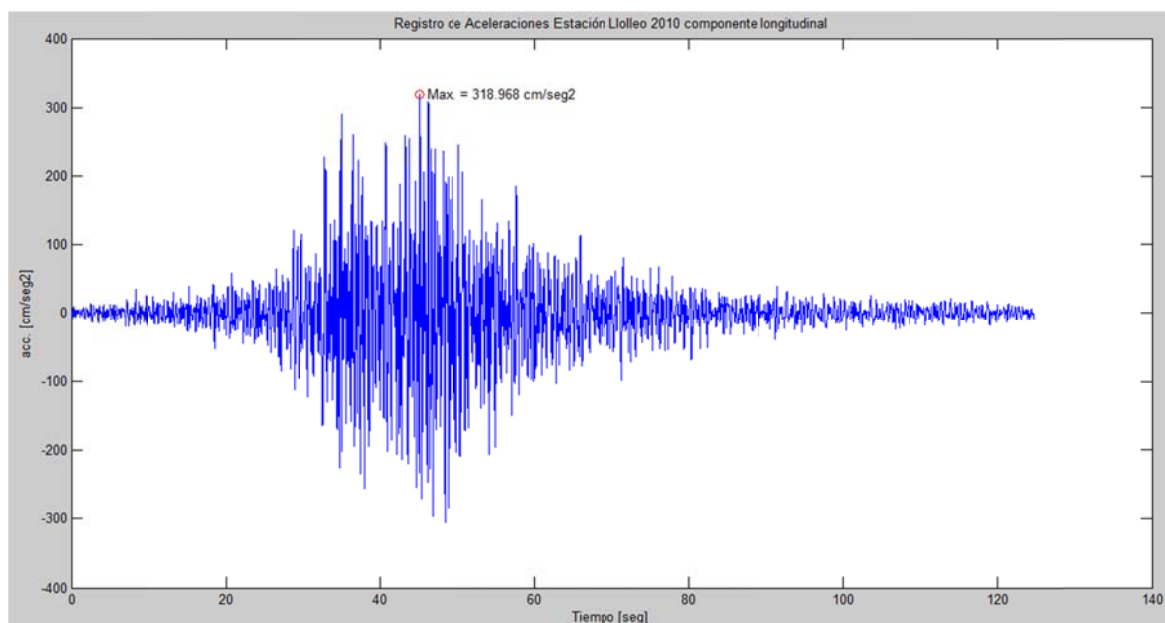


Figura III-31: Registro Semilla Componente Lloleco 10-2010.
[Fuente: Elaboración Propia].

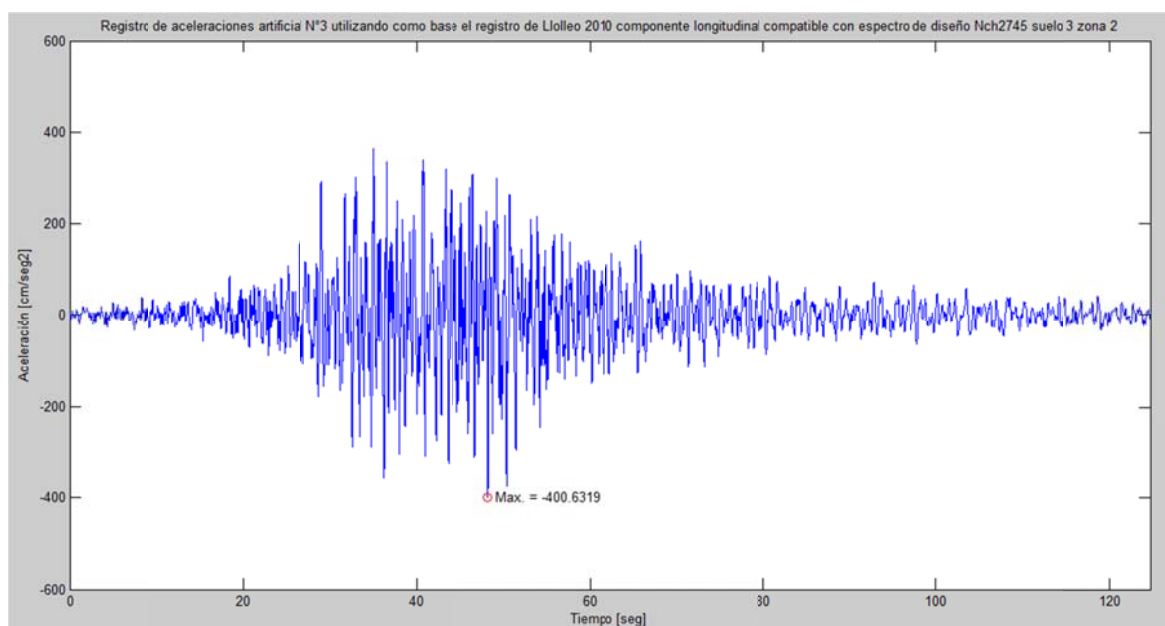


Figura III-32: Registro Artificial de la Componente Lloleco 10-2010.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-33, se muestra en color azul el espectro de diseño de aceleraciones de la Nch2745 Of 2003, la curva en color rojo, corresponde al espectro de respuesta de aceleraciones del registro artificial de la componente Llolleo 10-2010, en esta figura además se puede apreciar el nivel de ajuste entre el espectro objetivo y el espectro calculado a partir del registro artificial.

En la Figura III-34, se muestra en color azul el espectro de diseño de desplazamiento de la Nch2745 Of 2003, la curva en color rojo, corresponde al espectro de respuesta de desplazamiento del registro artificial de la componente Llolleo 10-2010, en esta figura además se puede apreciar el nivel de ajuste entre el espectro objetivo y el espectro calculado a partir del registro artificial, se evidencia un buen ajuste hasta los 1.6 segundos.

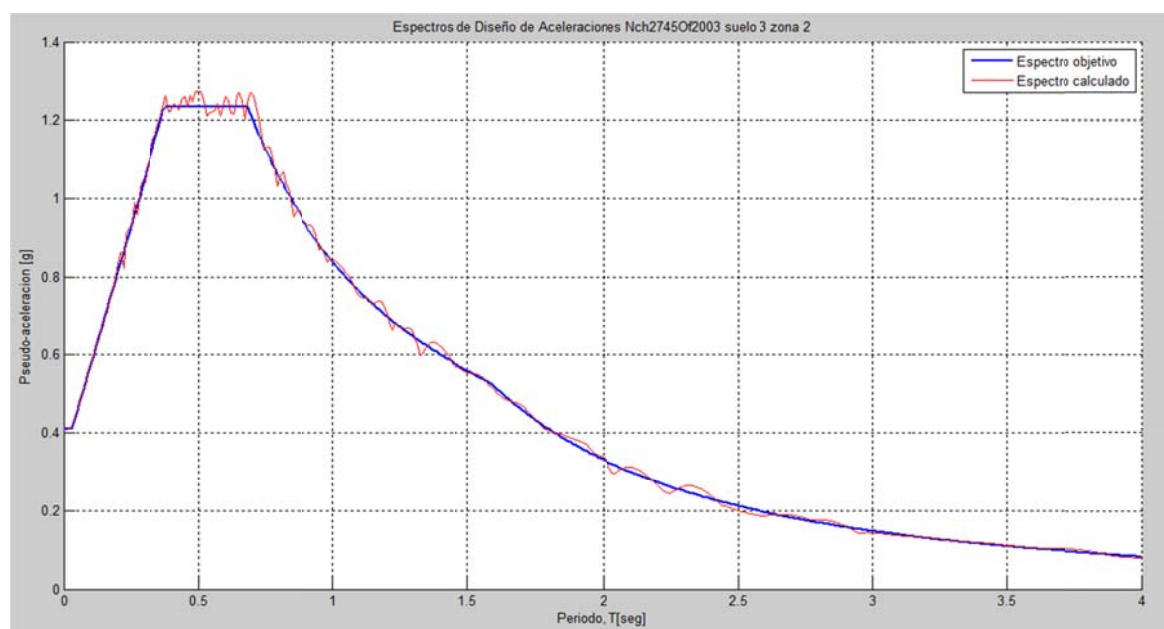


Figura III-33: Espectro de Diseño de Aceleración de la Nch 2745 of 2003 (Componente Llolleo 10-2010).

[Fuente: Elaboración Propia].

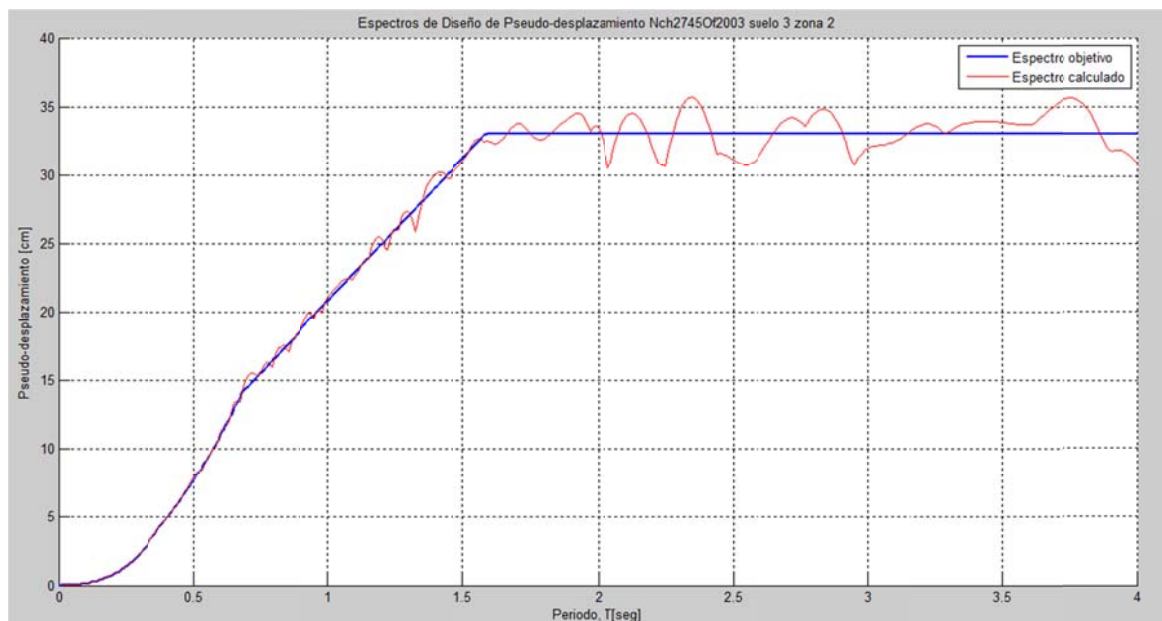


Figura III-34: Espectro de Diseño de Desplazamiento de la Nch 2745 of 2003 (Componente Lollole 10-2010).

[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-35, se muestra el espectro de Fourier del registro artificial, en la Figura III-36 se muestra el espectro de Fourier del registro artificial para el tramo de frecuencias entre 0 y 5 Hertz, en ambos se puede apreciar el contenido de frecuencias del registro artificial, en la Figura III-36 se puede distinguir además las frecuencias naturales de vibración del edificio en estudio sin AMS de los modos que arrastran mayor masa modal efectiva en las direcciones X e Y.

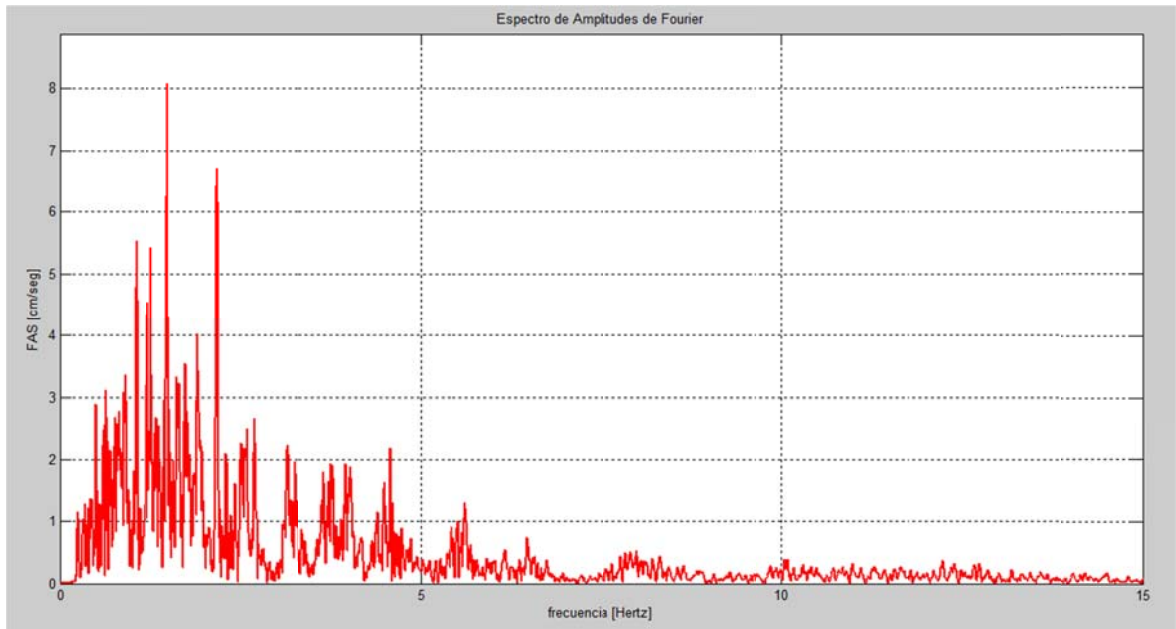


Figura III-35: Espectro de Amplitudes de Fourier del Registro Artificial Componente Lollole 10-2010.

[Fuente: Elaboración Propia].

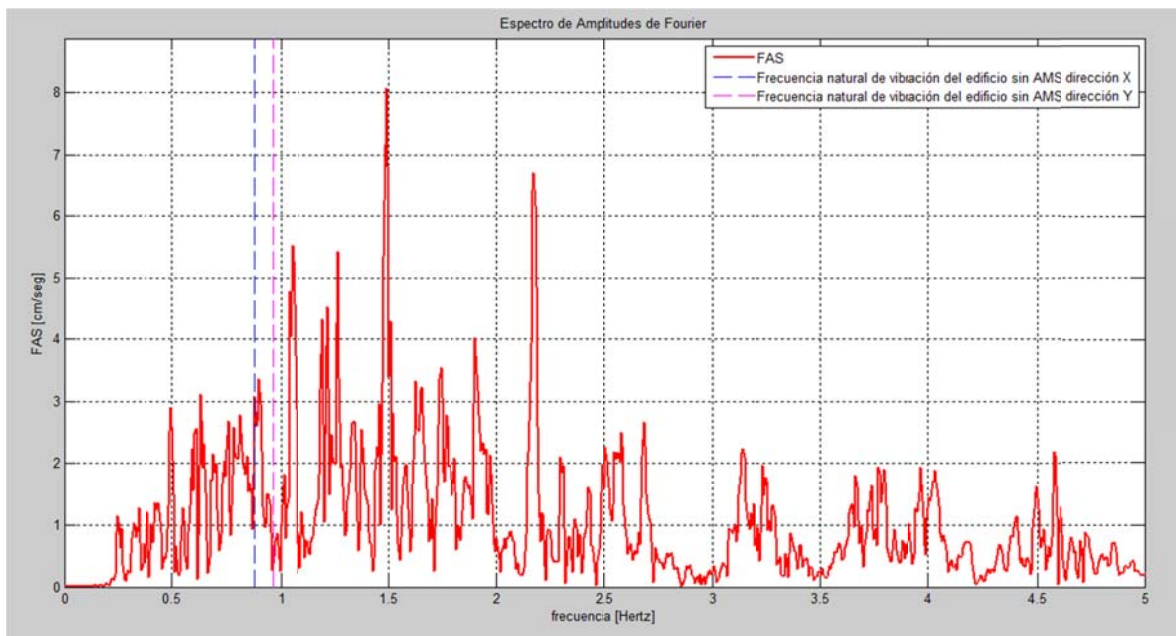


Figura III-36: Espectro de Amplitudes de Fourier Ampliado del Registro Artificial Componente Lollole 10-2010.

[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-37, se muestra la Intensidad de Arias del registro artificial, así como también: la duración significativa del registro y el potencial destructivo del registro artificial.

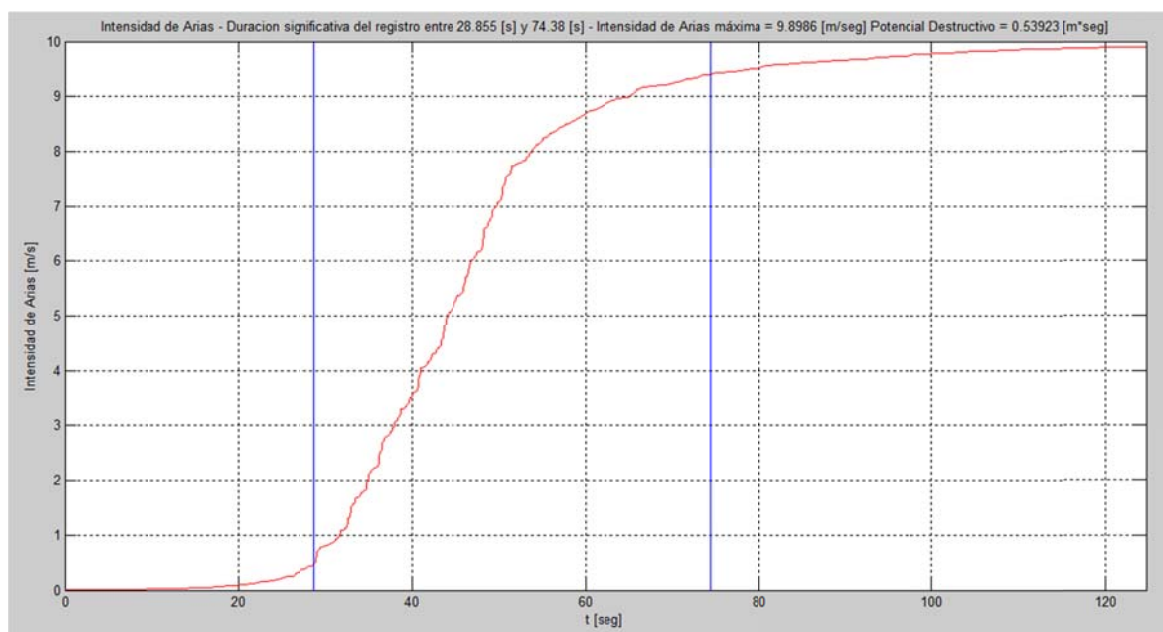


Figura III-37: Intensidad de Arias del Registro Artificial Componente Llolleo 10-2010.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-38 se muestra el registro semilla asociado a la componente horizontal Llolleo S80E registrado en la estación sismográfica de Llolleo durante el terremoto del 3 de Marzo de 1985.

En la Figura III-39 se muestra el registro artificial compatible con el espectro de diseño de la Nch2745 Of 2003, basado en el registro semilla de la componente horizontal Llolleo S80E.

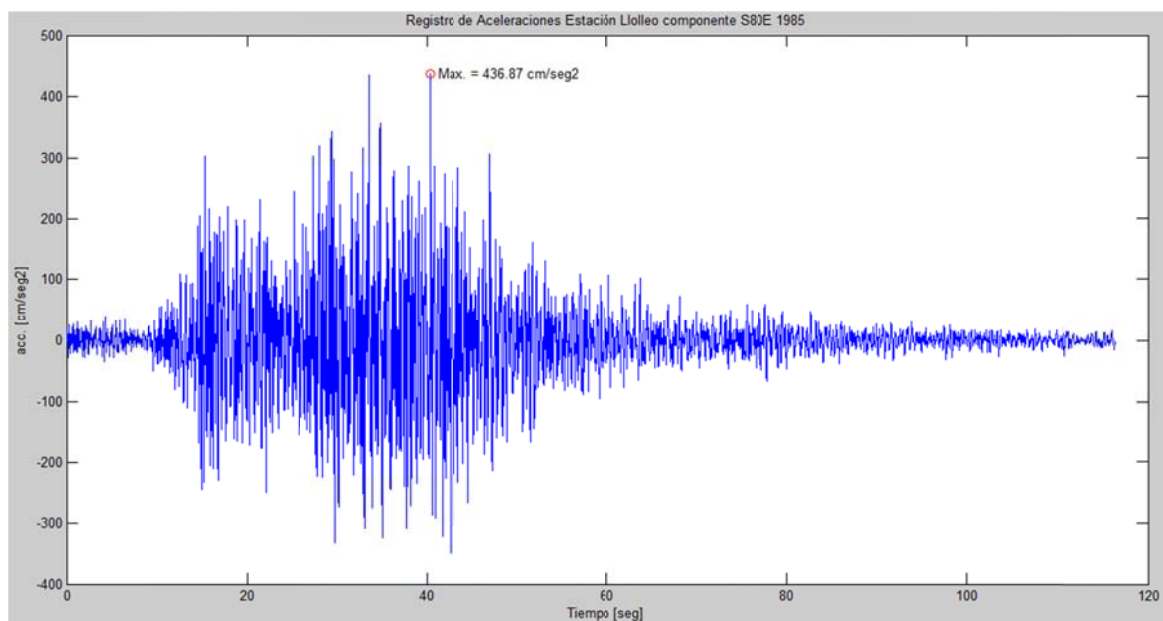


Figura III-38: Registro Semilla Componente Lolloo S80E-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

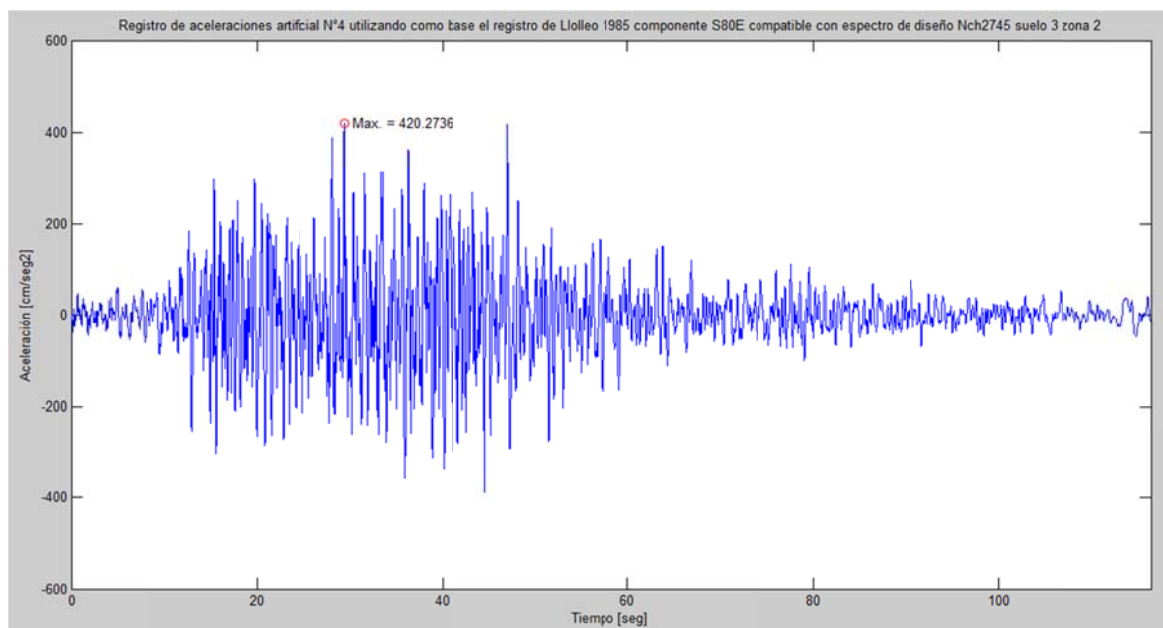


Figura III-39: Registro Artificial de la Componente Lolloo S80E-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-40, se muestra en color azul el espectro de diseño de aceleraciones de la Nch2745 Of 2003, la curva en color rojo, corresponde al espectro de respuesta de aceleraciones del registro artificial de la componente Llolleo S80E, en esta figura además se puede apreciar el nivel de ajuste entre el espectro objetivo y el espectro calculado a partir del registro artificial.

En la Figura III-41, se muestra en color azul el espectro de diseño de desplazamiento de la Nch2745 Of 2003, la curva en color rojo, corresponde al espectro de respuesta de desplazamiento del registro artificial de la componente Llolleo S80E, en esta figura además se puede apreciar el nivel de ajuste entre el espectro objetivo y el espectro calculado a partir del registro artificial, se evidencia un buen ajuste hasta los 1.6 segundos.

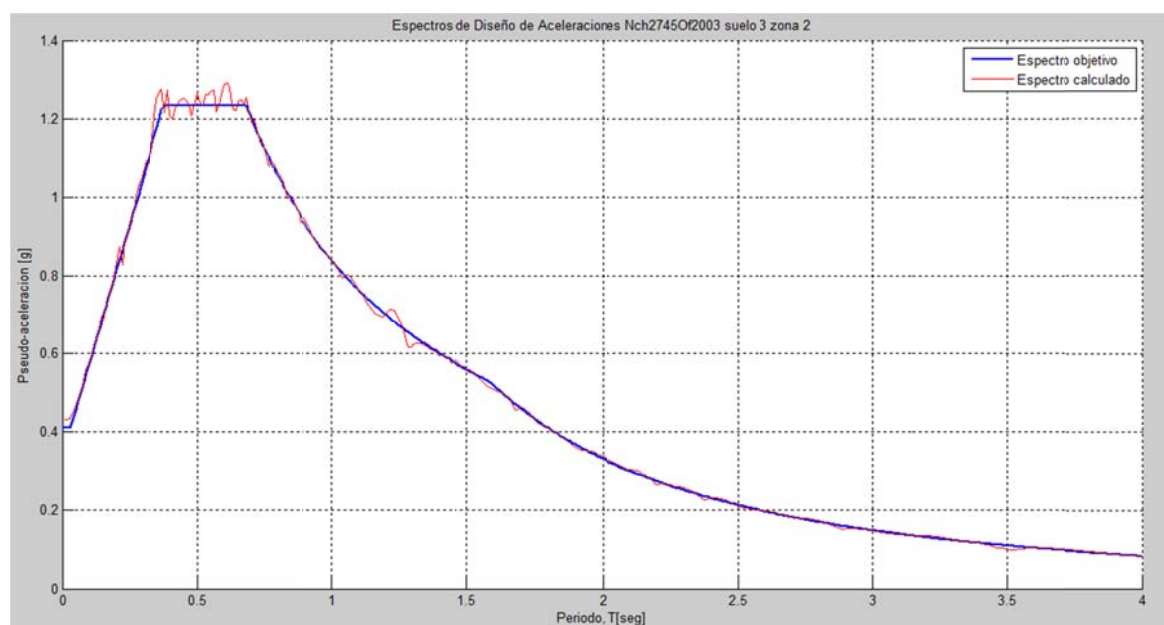


Figura III-40: Espectro de Diseño de Aceleración de la Nch 2745 of 2003 (Componente Llolleo S80E-1985).

[Fuente: Elaboración Propia].

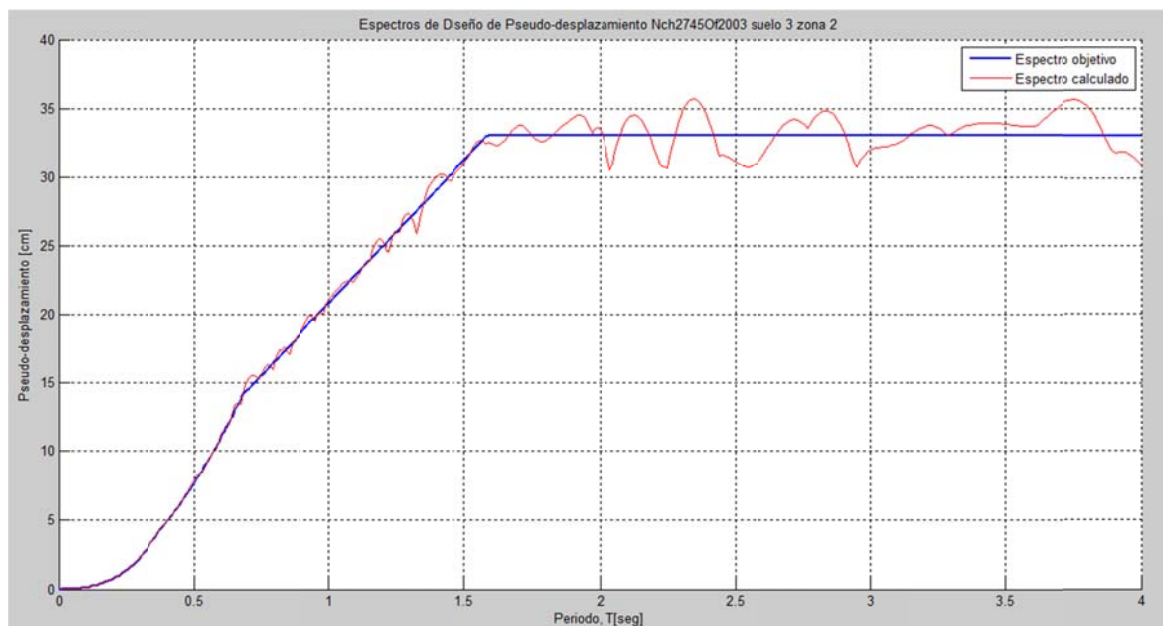


Figura III-41: Espectro de Diseño de Desplazamiento de la Nch 2745 of 2003
(Componente Lollole S80E-1985).
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-42, se muestra el espectro de Fourier del registro artificial, en la Figura III-43 se muestra el espectro de Fourier del registro artificial para el tramo de frecuencias entre 0 y 5 Hertz, en ambos se puede apreciar el contenido de frecuencias del registro artificial, en la Figura III-43 se puede apreciar además las frecuencias naturales de vibración del edificio en estudio sin AMS de los modos que arrastran mayor masa modal efectiva en las direcciones X e Y.

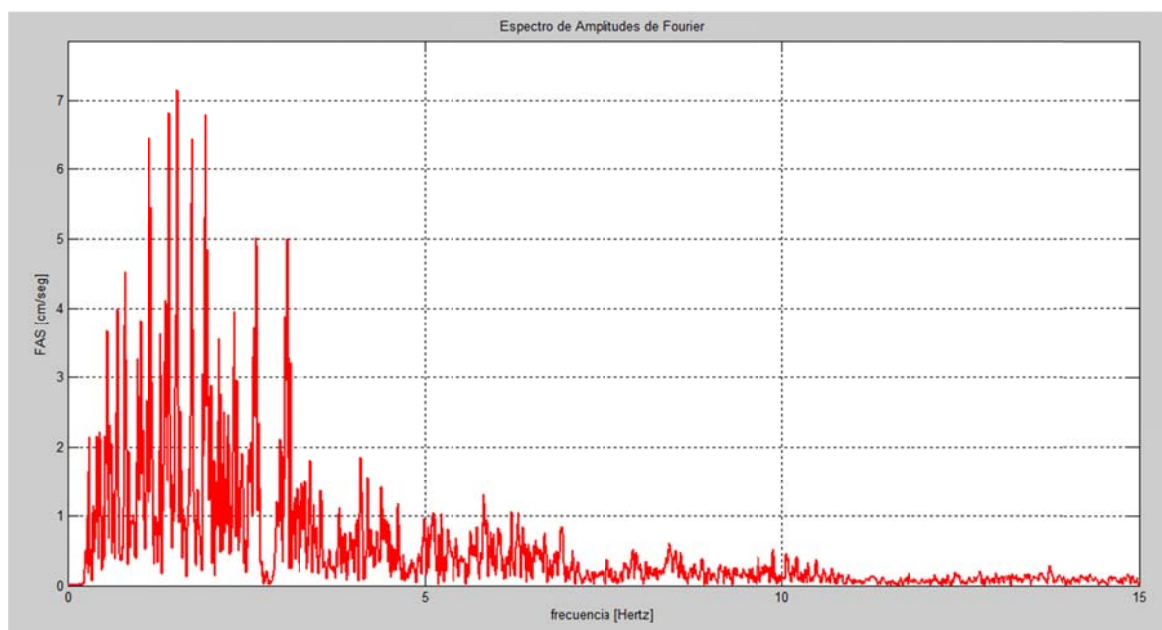


Figura III-42: Espectro de Amplitudes de Fourier del Registro Artificial Componente Llollo S80E-1985.

[Fuente: Elaboración Propia].

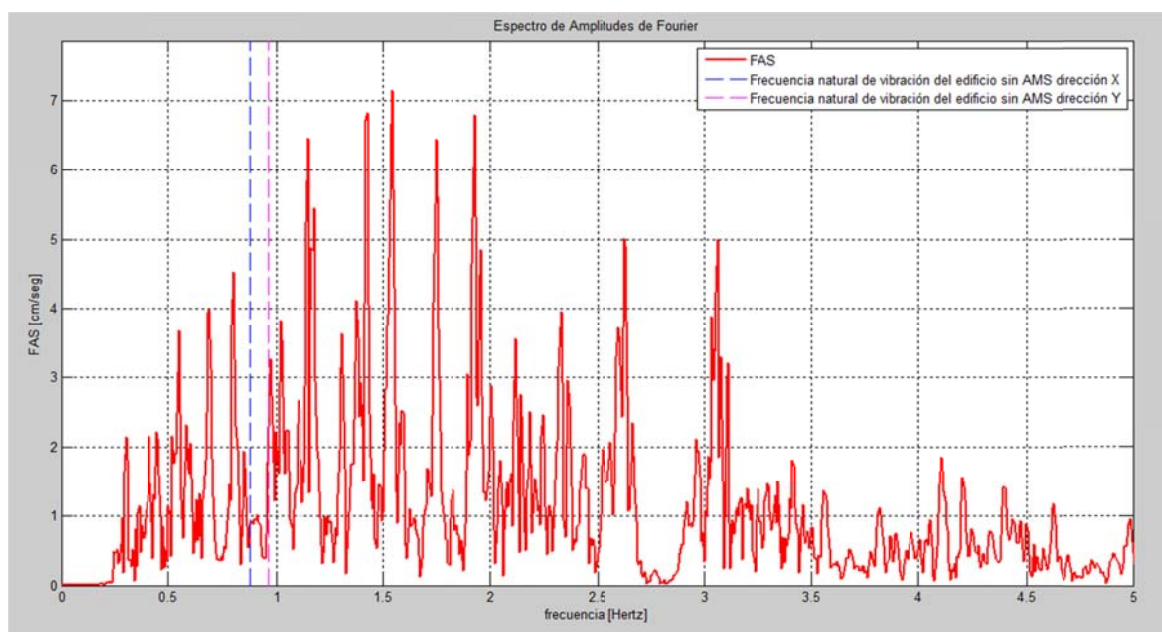


Figura III-43: Espectro de Amplitudes de Fourier Ampliado del Registro Artificial Componente Llollo S80E-1985.

[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-44, se muestra la Intensidad de Arias del registro artificial, así como también: la duración significativa del registro y el potencial destructivo del registro artificial.

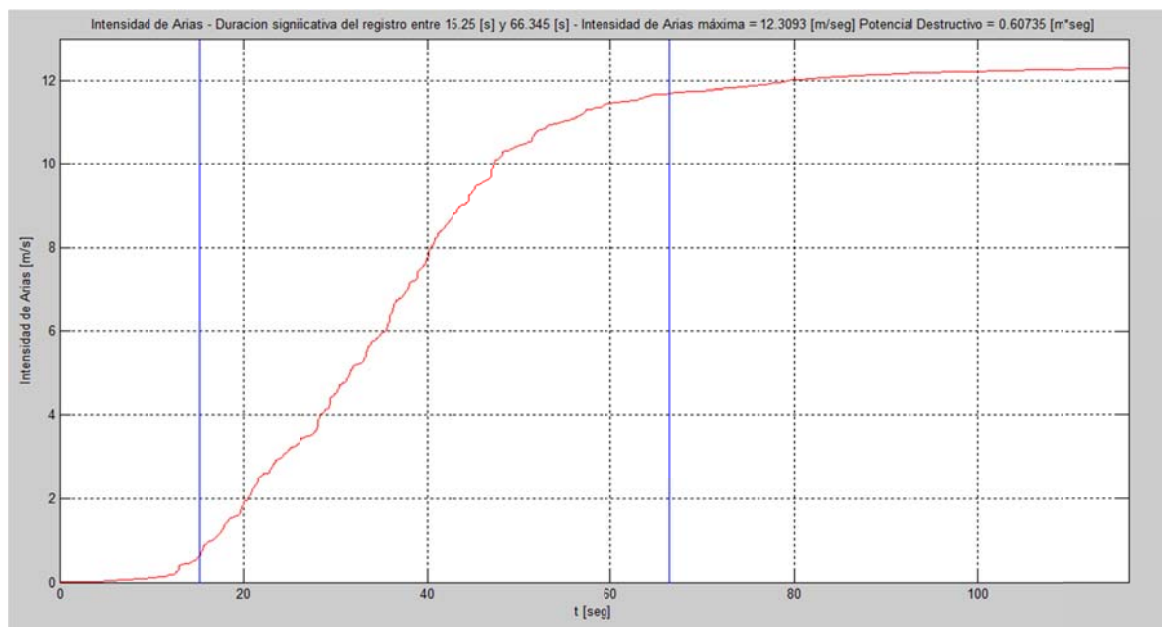


Figura III-44: Intensidad de Arias del Registro Artificial Componente Llolleo S80E-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-45 se muestra el registro semilla asociado a la componente horizontal Llolleo N10E registrado en la estación sismográfica de Llolleo durante el terremoto del 3 de Marzo de 1985.

En la Figura III-46 se muestra el registro artificial compatible con el espectro de diseño de la Nch2745 Of 2003, basado en el registro semilla de la componente horizontal Llolleo N10E.

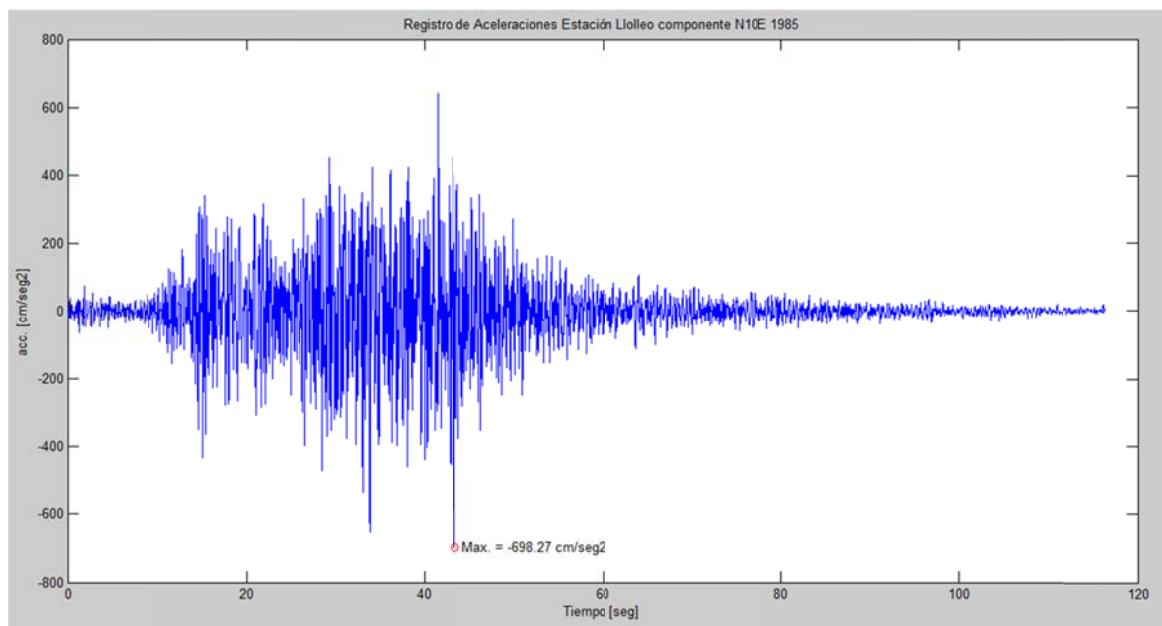


Figura III-45: Registro Semilla Componente Lolloe N10E-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

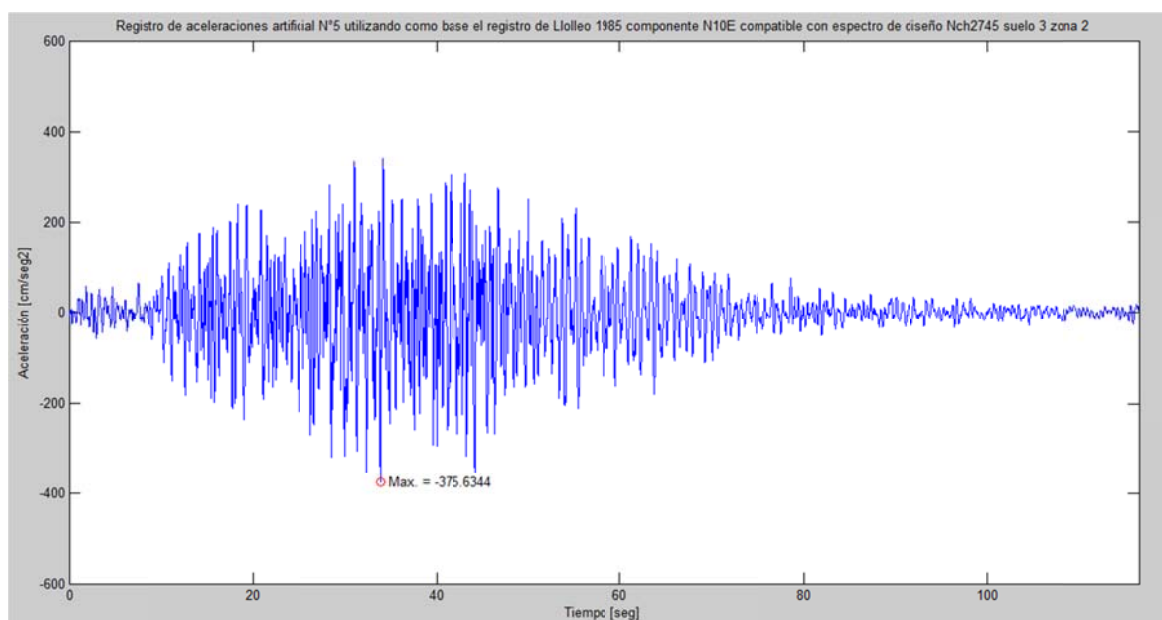


Figura III-46: Registro Artificial de la Componente Lolloe N10E-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-47, se muestra en color azul el espectro de diseño de aceleraciones de la Nch2745 Of 2003, la curva en color rojo, corresponde al espectro de respuesta de aceleraciones del registro artificial de la componente Llolleo N10E, en esta figura además se puede apreciar el nivel de ajuste entre el espectro objetivo y el espectro calculado a partir del registro artificial.

En la Figura III-48, se muestra en color azul el espectro de diseño de desplazamiento de la Nch2745 Of 2003, la curva en color rojo, corresponde al espectro de respuesta de desplazamiento del registro artificial de la componente Llolleo N10E, en esta figura además se puede apreciar el nivel de ajuste entre el espectro objetivo y el espectro calculado a partir del registro artificial, se evidencia un buen ajuste hasta los 2.0 segundos.

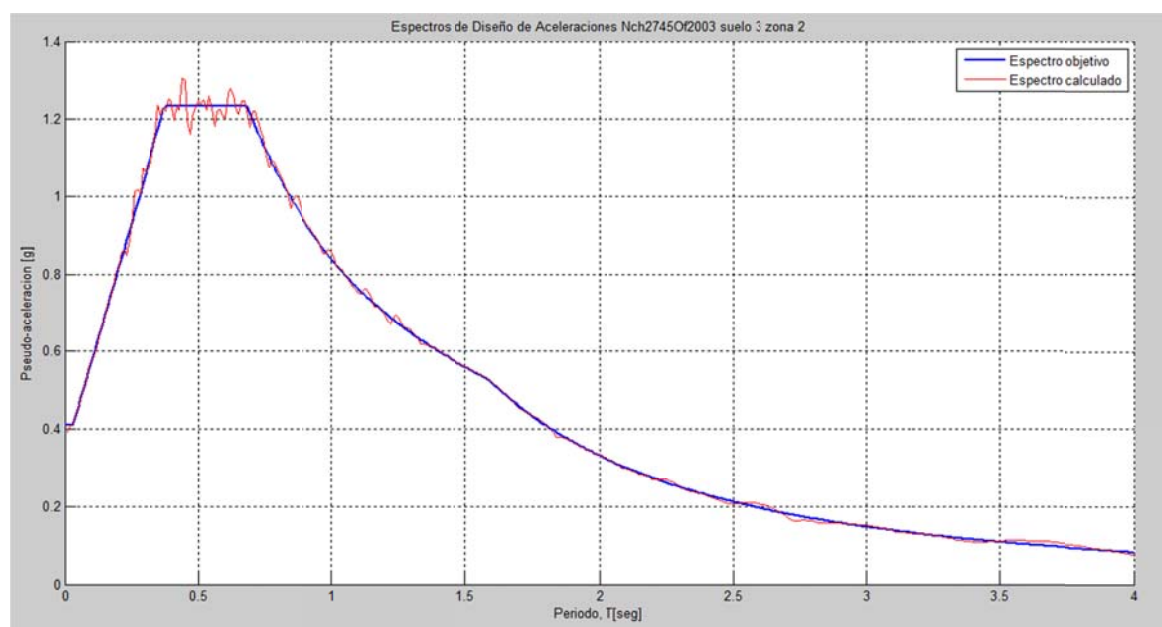


Figura III-47: Espectro de Diseño de Aceleración de la Nch 2745 of 2003 (Componente Llolleo N10E-1985).

[Fuente: Elaboración Propia].

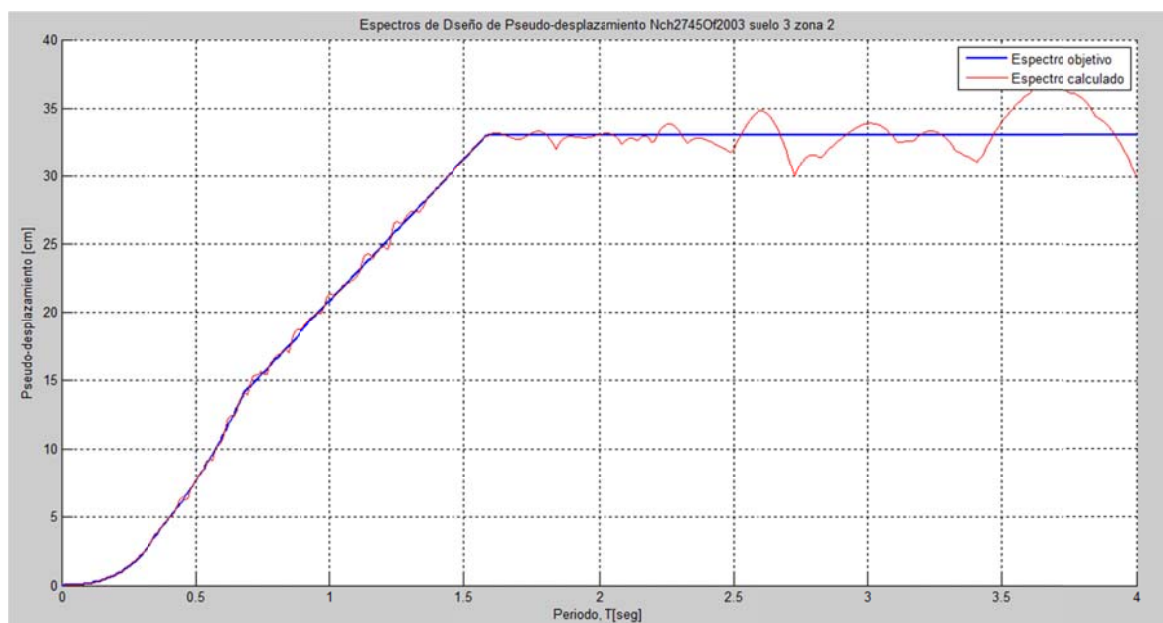


Figura III-48: Espectro de Diseño de Desplazamiento de la Nch 2745 of 2003
(Componente Lollole N10E-1985).
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-49, se muestra el espectro de Fourier del registro artificial, en la Figura III-50 se muestra el espectro de Fourier del registro artificial para el tramo de frecuencias entre 0 y 5 Hertz, en ambos se puede apreciar el contenido de frecuencias del registro artificial, en la Figura III-50 se puede distinguir además las frecuencias naturales de vibración del edificio en estudio sin AMS de los modos que arrastran mayor masa modal efectiva en las direcciones X e Y.

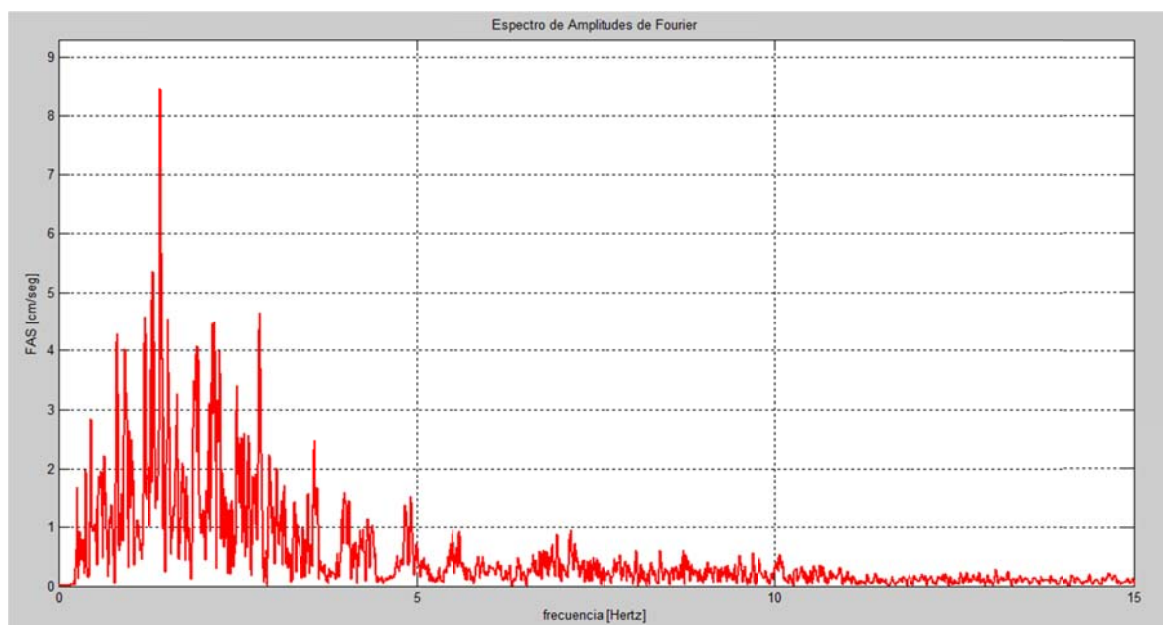


Figura III-49: Espectro de Amplitudes de Fourier del Registro Artificial Componente Lolloo N10E-1985.

[Fuente: Elaboración Propia].

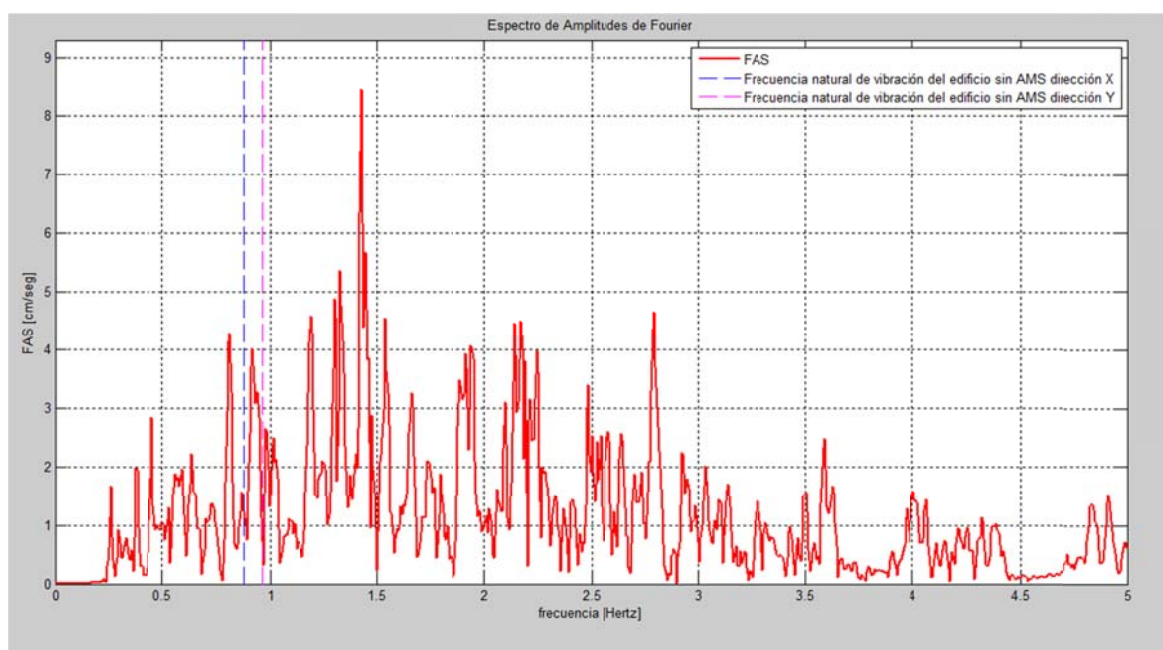


Figura III-50: Espectro de Amplitudes de Fourier Ampliado del Registro Artificial Componente Lolloo N10E-1985.

[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-51, se muestra la Intensidad de Arias del registro artificial, así como también: la duración significativa del registro y el potencial destructivo del registro artificial.

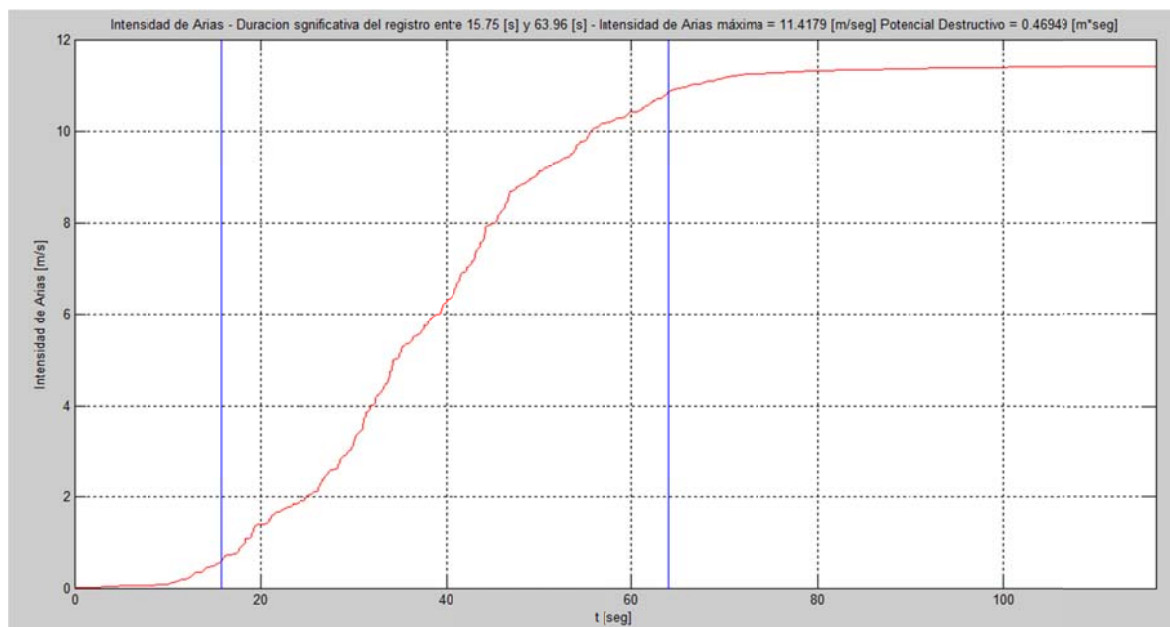


Figura III-51: Intensidad de Arias del Registro Artificial Componente Lollole N10E-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-52 se muestra el registro semilla asociado a la componente horizontal Viña del Mar 290 registrado en la estación sismográfica de Viña del Mar durante el terremoto del 3 de Marzo de 1985.

En la Figura III-53 se muestra el registro artificial compatible con el espectro de diseño de la Nch2745 Of 2003, basado en el registro semilla de la componente horizontal Viña del Mar 290.

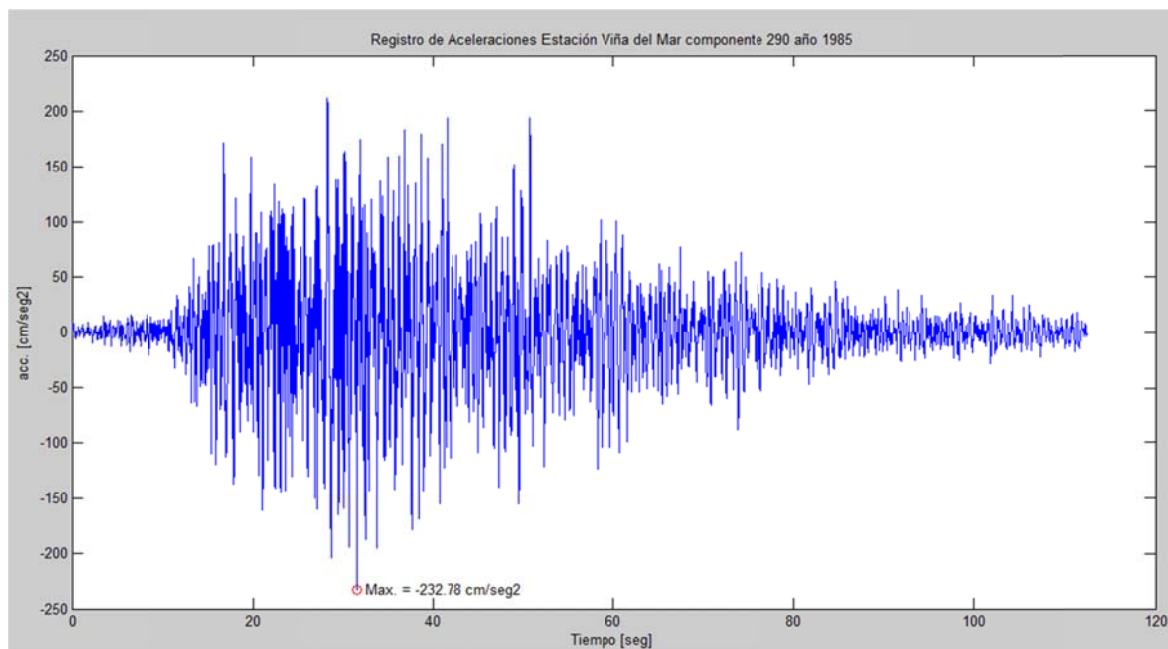


Figura III-52: Registro Semilla Componente Viña del Mar 290-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

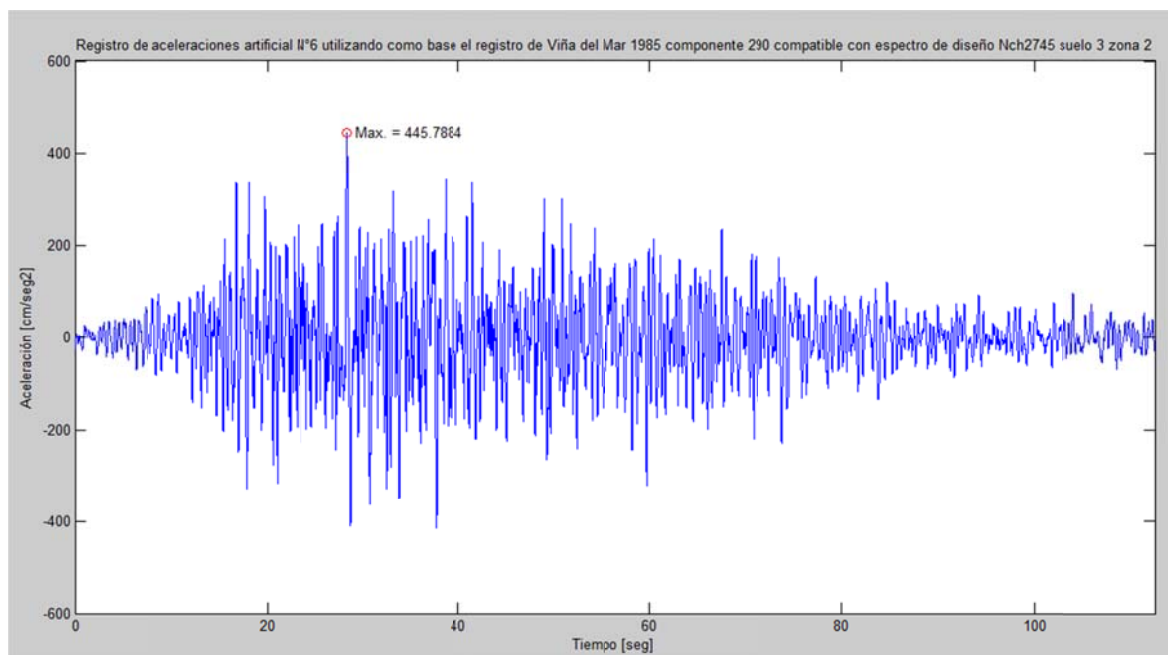


Figura III-53: Registro Artificial de la Componente Viña del Mar 290-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-54, se muestra en color azul el espectro de diseño de aceleraciones de la Nch2745 Of 2003, la curva en color rojo, corresponde al espectro de respuesta de aceleraciones del registro artificial de la componente Viña del Mar 290, en esta figura además se puede apreciar el nivel de ajuste entre el espectro objetivo y el espectro calculado a partir del registro artificial.

En la Figura III-55, se muestra en color azul el espectro de diseño de desplazamiento de la Nch2745 Of 2003, la curva en color rojo, corresponde al espectro de respuesta de desplazamiento del registro artificial de la componente Viña del Mar, en esta figura además se puede apreciar el nivel de ajuste entre el espectro objetivo y el espectro calculado a partir del registro artificial, se evidencia un buen ajuste hasta los 1.6 segundos.

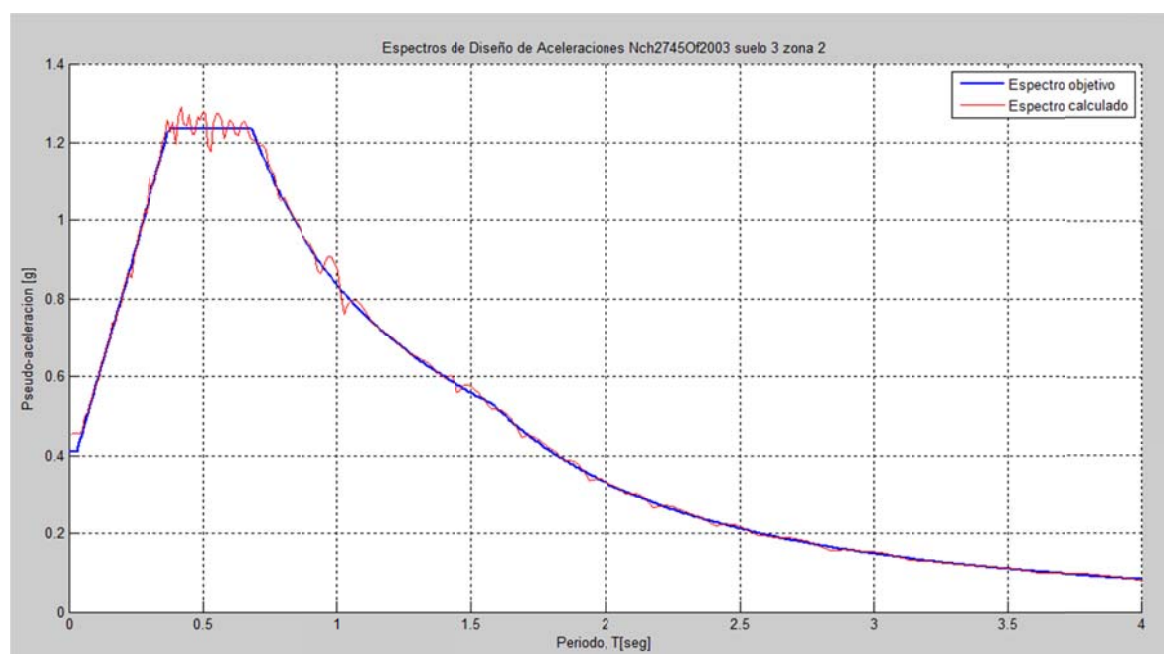


Figura III-54: Espectro de Diseño de Aceleración de la Nch 2745 of 2003 (Componente Viña del Mar 290-1985).

[Fuente: Elaboración Propia].

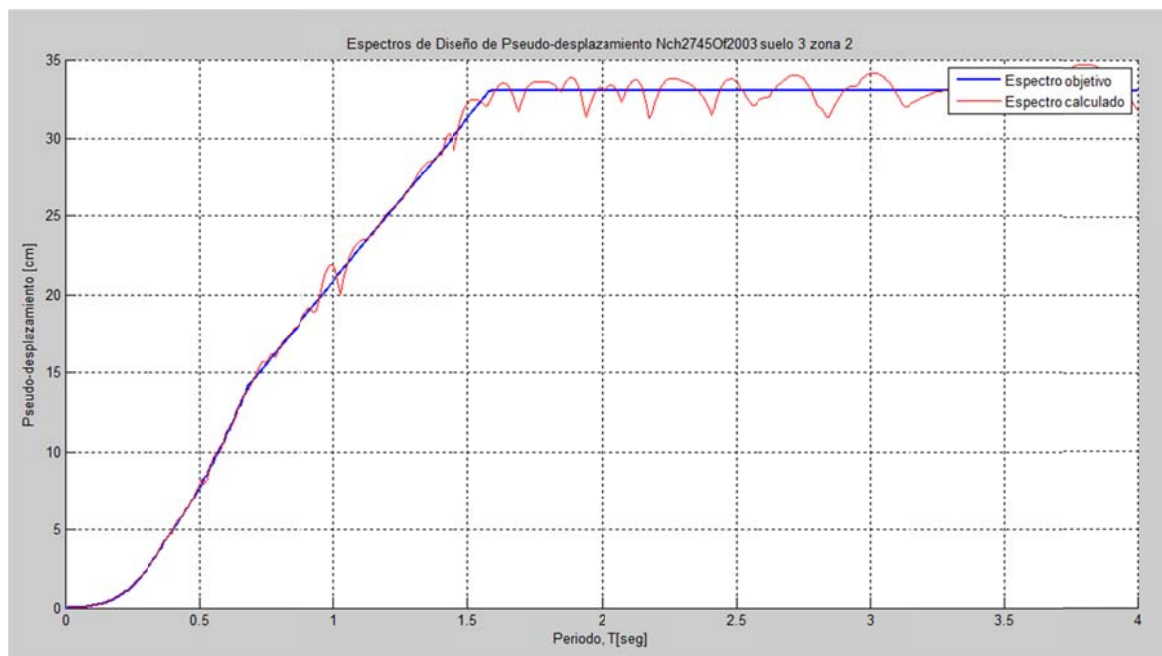


Figura III-55: Espectro de Diseño de Desplazamiento de la Nch 2745 of 2003
(Componente Viña del Mar 290-1985).
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-56, se muestra el espectro de Fourier del registro artificial, en la Figura III-57 se muestra el espectro de Fourier del registro artificial para el tramo de frecuencias entre 0 y 5 Hertz, en ambos se puede apreciar el contenido de frecuencias del registro artificial, en la Figura III-57 se puede distinguir además las frecuencias naturales de vibración del edificio en estudio sin AMS de los modos que arrastran mayor masa modal efectiva en las direcciones X e Y.

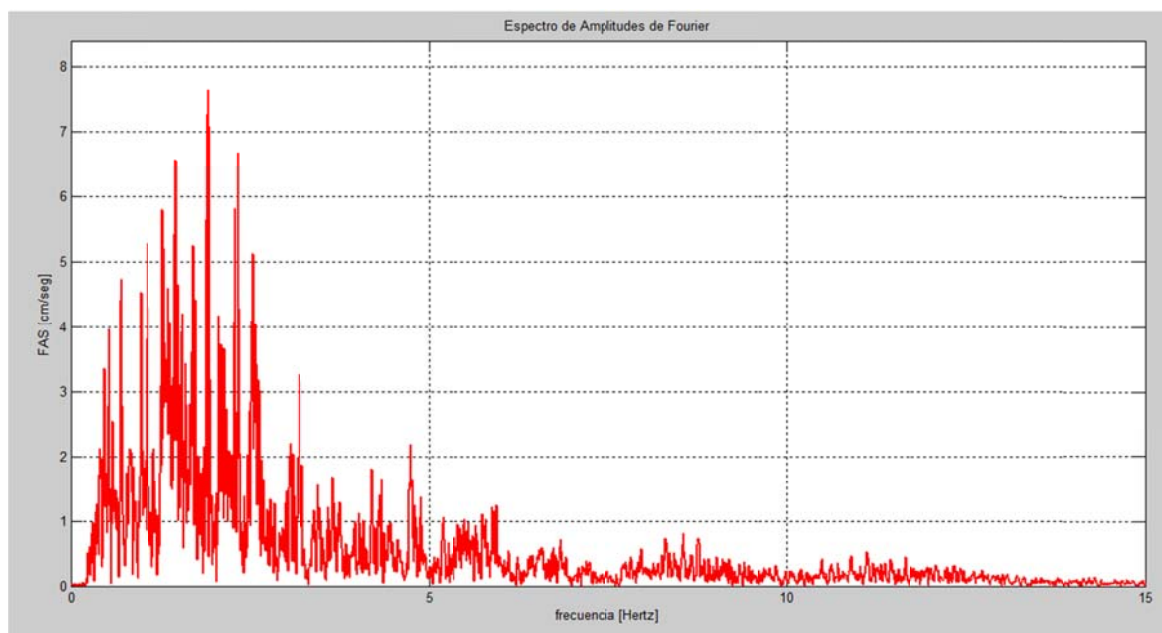


Figura III-56: Espectro de Amplitudes de Fourier del Registro Artificial Componente Viña del Mar 290-1985.

[Fuente: Elaboración Propia].

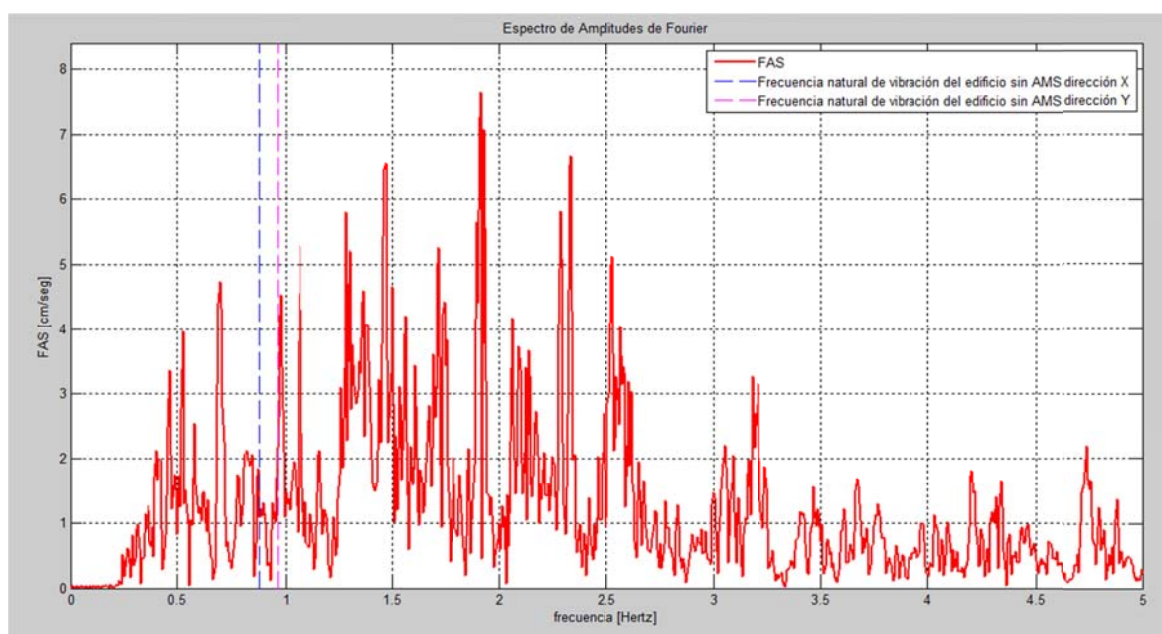


Figura III-57: Espectro de Amplitudes de Fourier Ampliado del Registro Artificial Componente Viña del Mar 290-1985.

[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-58, se muestra la Intensidad de Arias del registro artificial, así como también: la duración significativa del registro y el potencial destructivo del registro artificial.

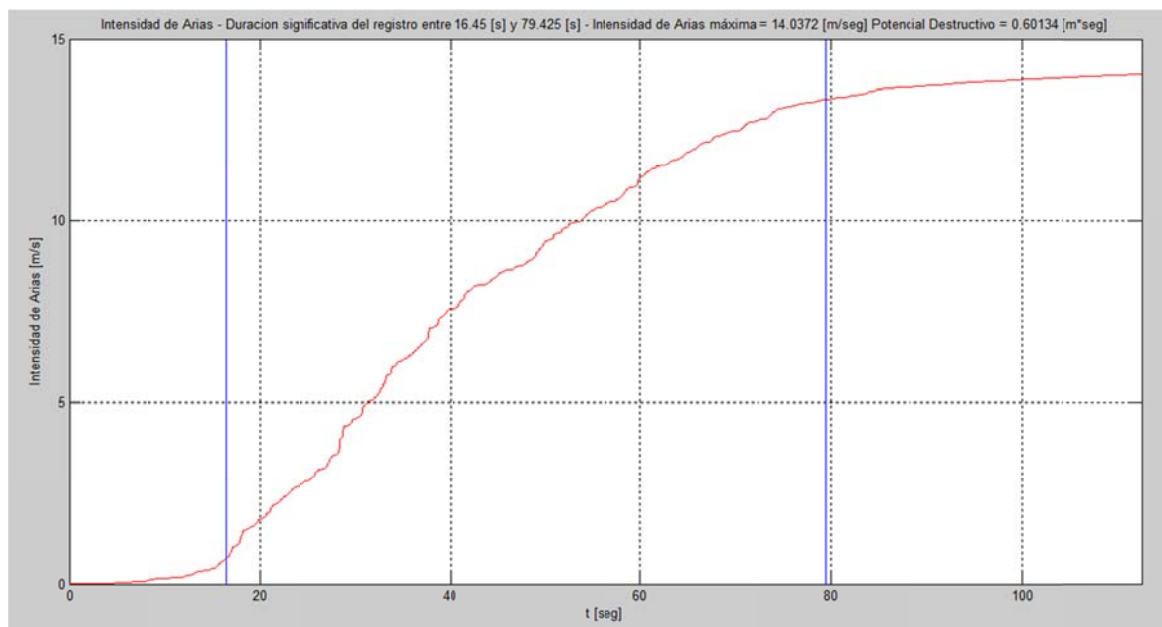


Figura III-58: Intensidad de Arias del Registro Artificial Componente Viña del Mar 290-1985.

[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-59 se muestra el registro semilla asociado a la componente horizontal Viña del Mar 200. registrado en la estación sismográfica de Viña del Mar durante el terremoto del 3 de Marzo de 1985.

En la Figura III-60 se muestra el registro artificial compatible con el espectro de diseño de la Nch2745 Of 2003, basado en el registro semilla de la componente horizontal Viña del Mar 200.

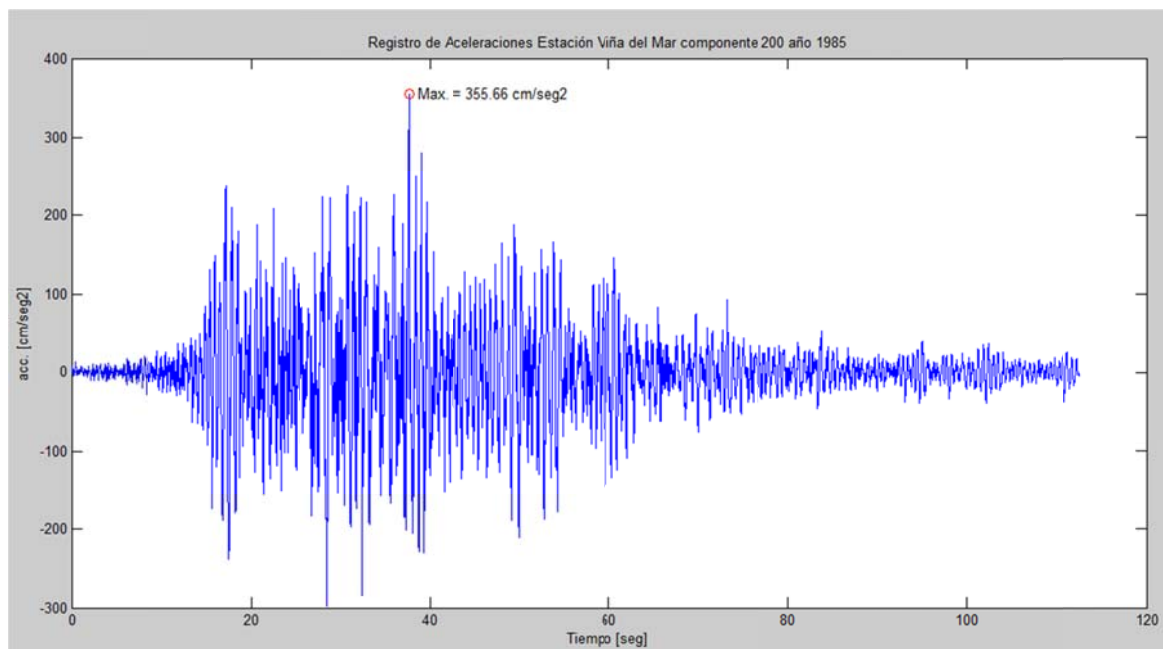


Figura III-59: Registro Semilla Componente Viña del Mar 200-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

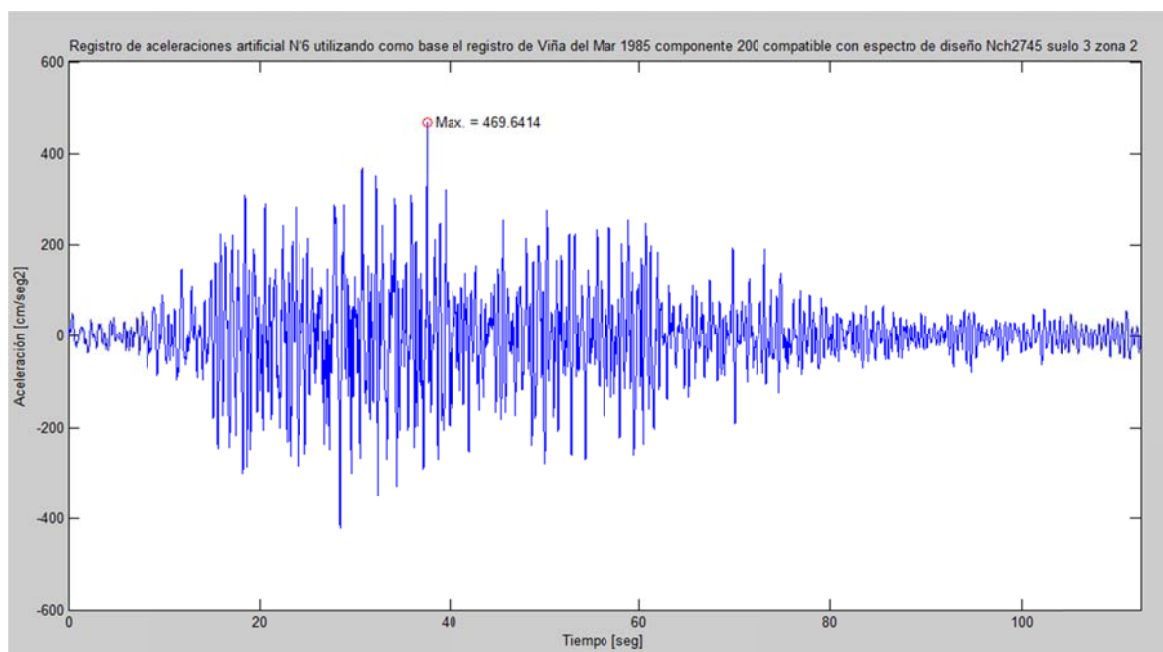


Figura III-60: Registro Artificial Componente Viña del Mar 200-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-61, se muestra en color azul el espectro de diseño de aceleraciones de la Nch2745 Of 2003, la curva en color rojo, corresponde al espectro de respuesta de aceleraciones del registro artificial de la componente Viña del Mar 200, en esta figura además se puede apreciar el nivel de ajuste entre el espectro objetivo y el espectro calculado a partir del registro artificial.

En la Figura III-62, se muestra en color azul el espectro de diseño de desplazamiento de la Nch2745 Of 2003, la curva en color rojo, corresponde al espectro de respuesta de desplazamiento del registro artificial de la componente Viña del Mar 200, en esta figura además se puede apreciar el nivel de ajuste entre el espectro objetivo y el espectro calculado a partir del registro artificial, se evidencia un buen ajuste hasta los 1.6 segundos.

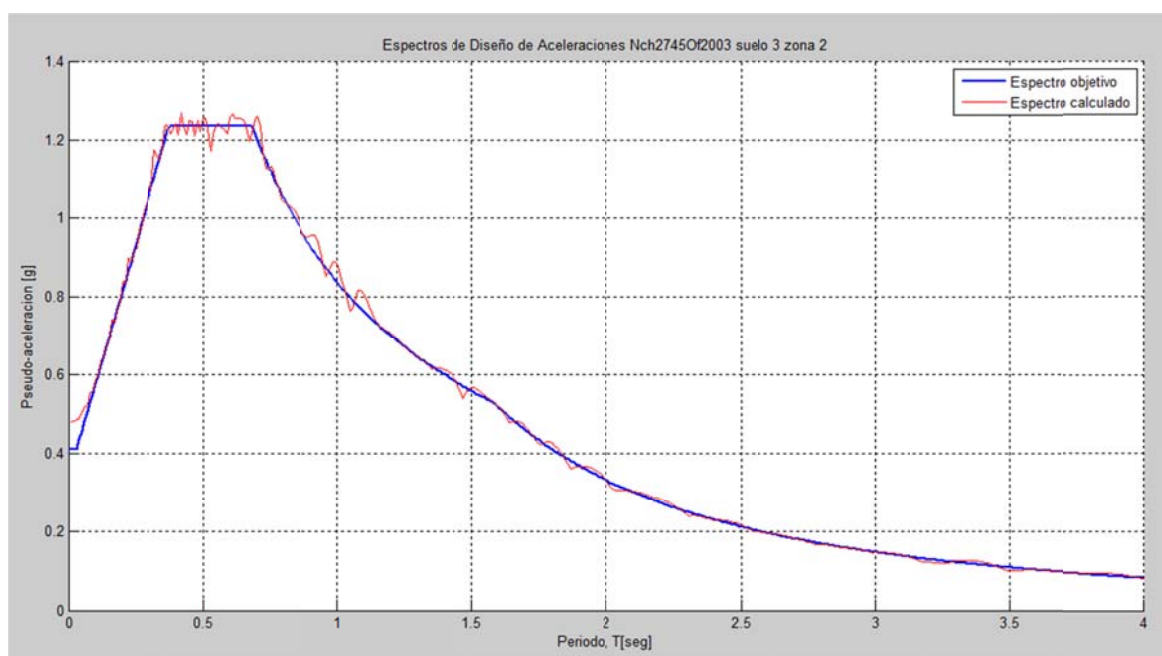


Figura III-61: Espectro de Diseño de Aceleración de la Nch 2745 of 2003 (Componente Viña del Mar 200-1985).

[Fuente: Elaboración Propia].

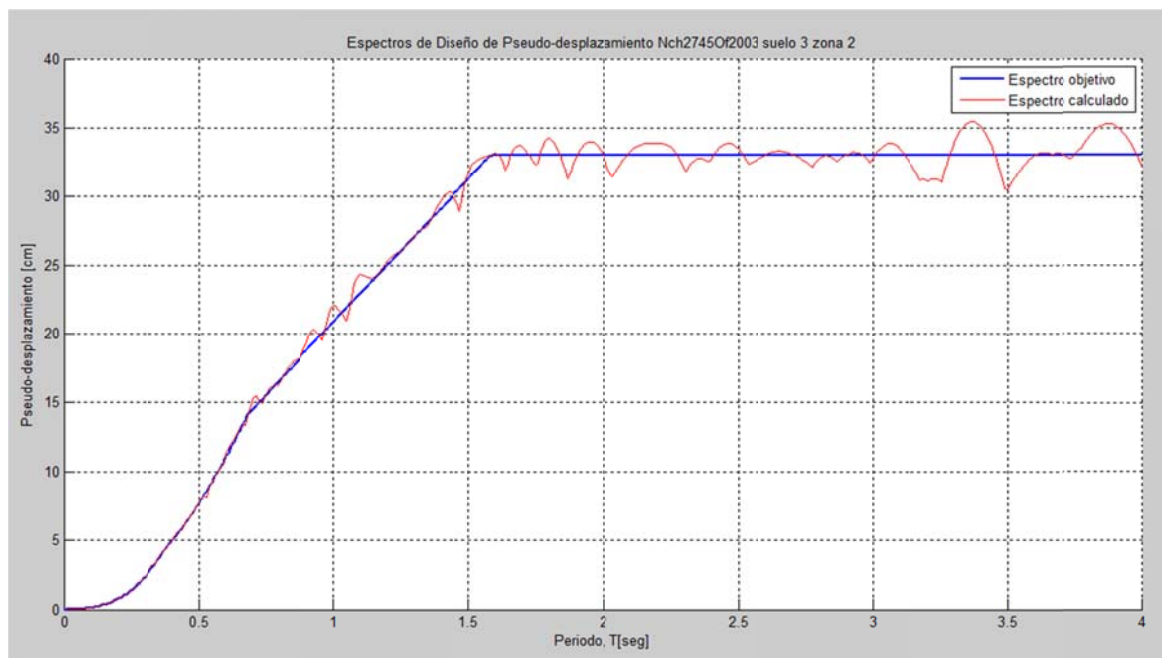


Figura III-62: Espectro de Diseño de Desplazamiento de la Nch 2745 of 2003
(Componente Viña del Mar 200-1985).
[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-63, se muestra el espectro de Fourier del registro artificial, en la Figura III-64 se muestra el espectro de Fourier del registro artificial para el tramo de frecuencias entre 0 y 5 Hertz, en ambos se puede apreciar el contenido de frecuencias del registro artificial, en la Figura III-64 se puede distinguir además las frecuencias naturales de vibración del edificio en estudio sin AMS de los modos que arrastran mayor masa modal efectiva en las direcciones X e Y.

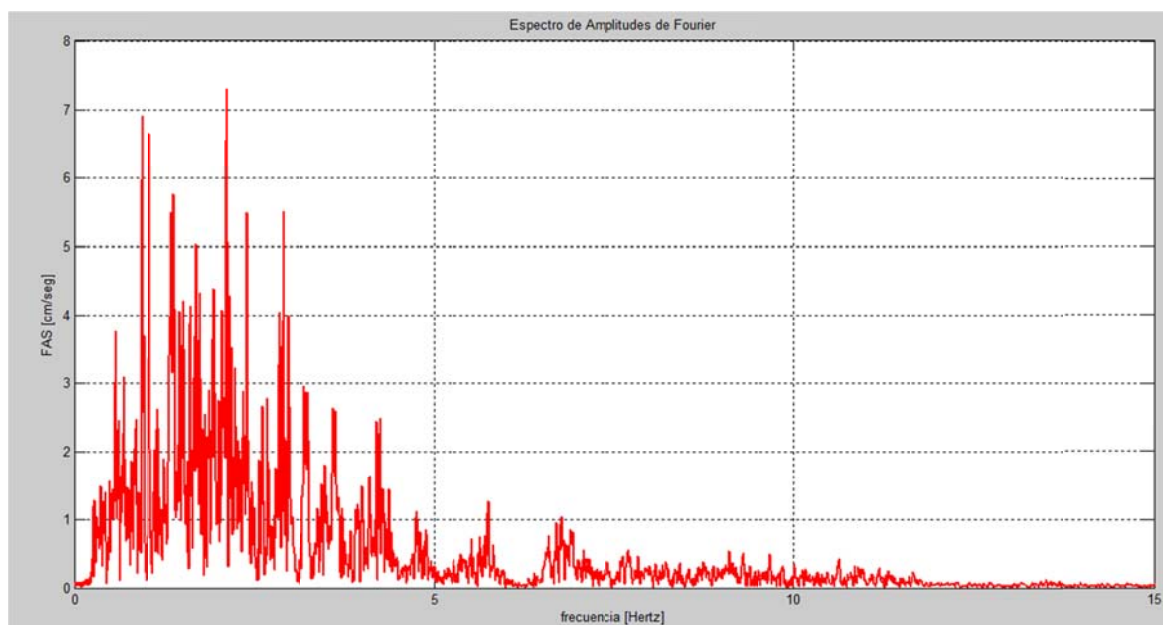


Figura III-63: Espectro de Amplitudes de Fourier del Registro Artificial Componente Viña del Mar 200-1985.

[Fuente: Elaboración Propia].

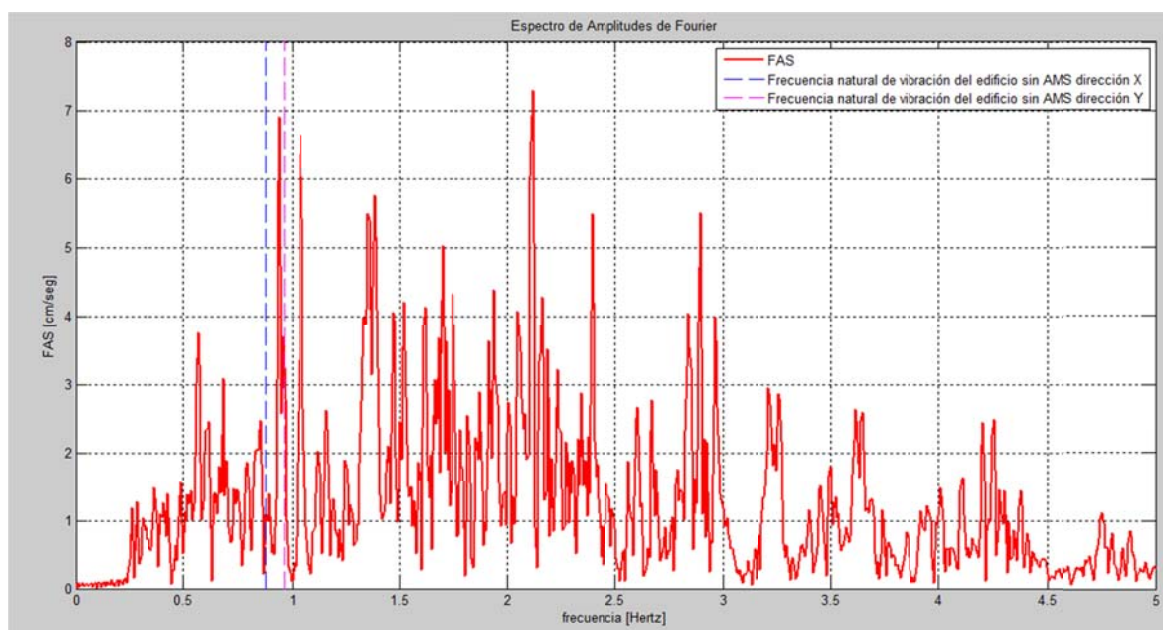


Figura III-64: Espectro de Amplitudes de Fourier Ampliado del Registro Artificial Componente Viña del Mar 200-1985.

[Fuente: Elaboración Propia].

En la Figura III-65, se muestra la Intensidad de Arias del registro artificial, así como también: la duración significativa del registro y el potencial destructivo del registro artificial.

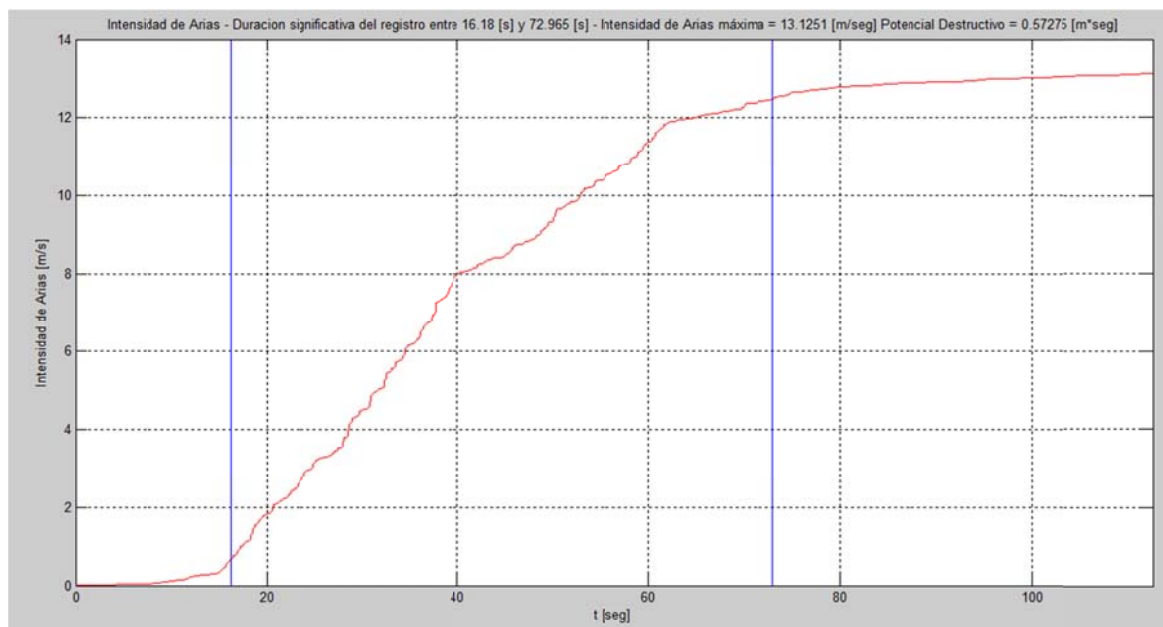


Figura III-65: Intensidad de Arias del Registro Artificial Componente Viña del Mar 200-1985.

[Fuente: Elaboración Propia].

III.5 Análisis Sísmico de los Modelos.

Cada uno de los modelos antes descritos en el capítulo III.3 fueron sometidos a análisis sísmicos Historia de la Respuesta en el Tiempo (HRT) utilizando los registros compatibles con el espectro de diseño de la Nch 2745 Of 2003 definidos en el capítulo III.4. En cada modelo se realizaron 6 análisis HRT, en donde los 3 pares de registros artificiales fueron aplicados de modo que las dos componentes de cada par de registro actuaron en forma simultánea aplicada en 0° y 90° , ya que la direccionalidad de ataque del sismo es una incertidumbre. En las figuras III-66 a III-71 se muestra la forma en que los pares de registros artificiales fueron aplicados sobre los modelos.

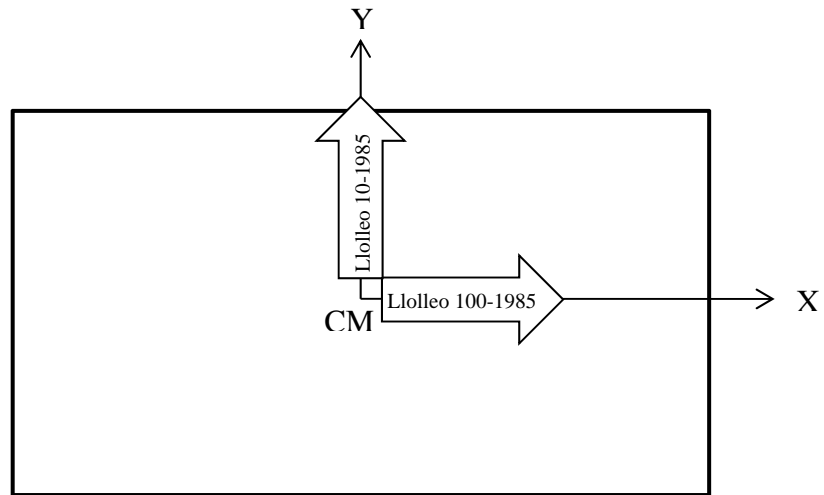


Figura III-66: Análisis Sísmico HRT Llolleo 100-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

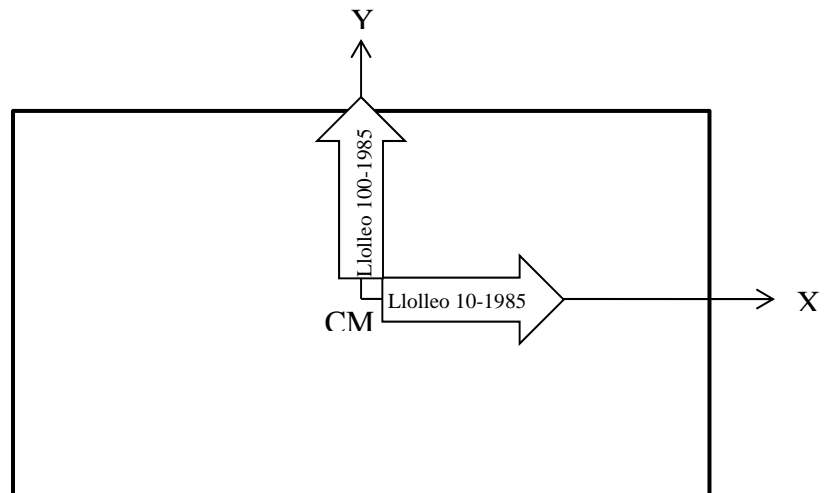


Figura III-67: Análisis Sísmico HRT Llolleo 10-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

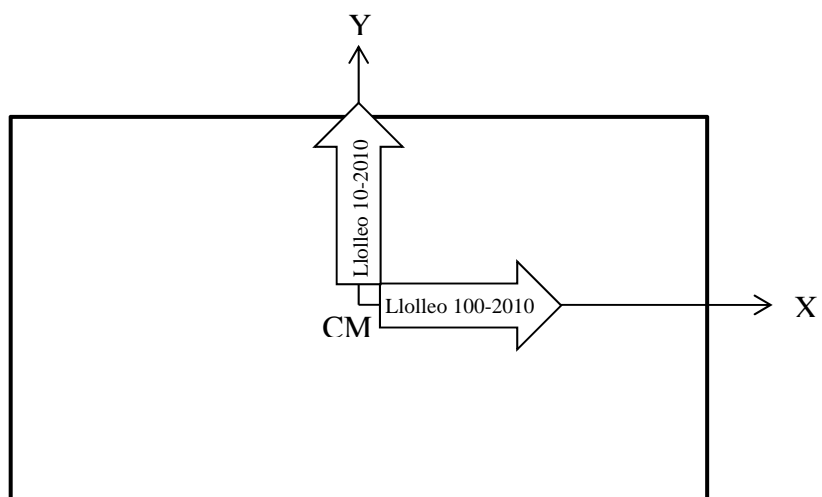


Figura III-68: Análisis Sísmico HRT Llolleo 100-2010.
[Fuente: Elaboración Propia].

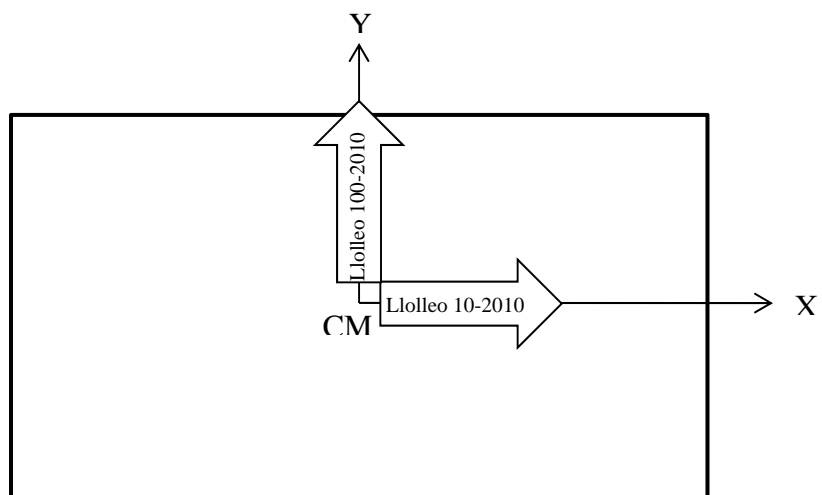


Figura III-69: Análisis Sísmico HRT Llolleo 10-2010.
[Fuente: Elaboración Propia].

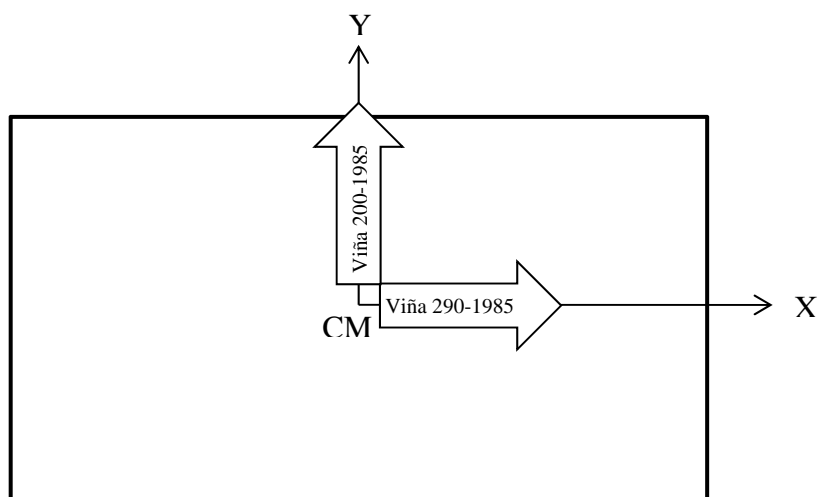


Figura III-70: Análisis Sísmico HRT Viña 290-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

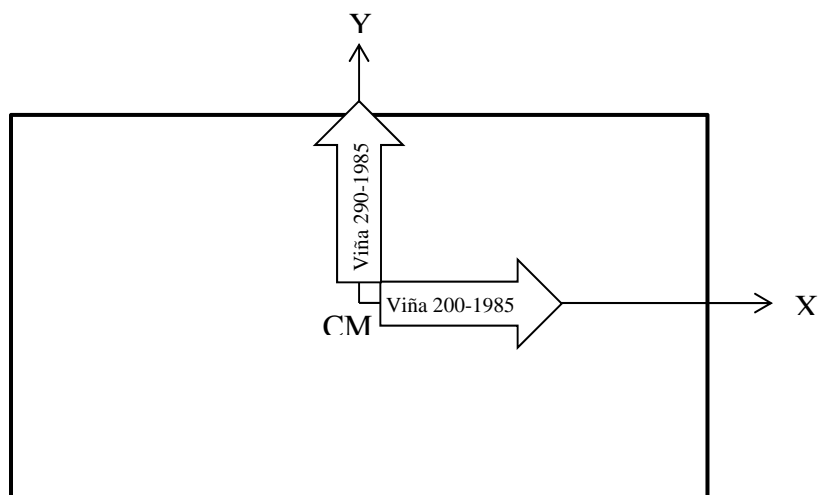


Figura III-71: Análisis Sísmico HRT Viña 200-1985.
[Fuente: Elaboración Propia].

En el caso del modelo original se realizaron análisis HRT modal lineal elástico, para incorporar los efectos de disipación de energía que posee la estructura se consideró amortiguamiento clásico del tipo viscoso el cual fue modelado a través de la matriz de amortiguamiento según Rayleigh, en donde la matriz de amortiguamiento de la estructura es una combinación lineal de la matriz de masa y la matriz de rigidez de la estructura, para ello se consideró que el coeficiente de amortiguamiento crítico del primer modo es de un 5% y será igual al coeficiente de amortiguamiento crítico del último modo, esto es, $\xi_1 = \xi_n = 5\%$. Para el análisis HRT se utilizó un paso de tiempo constante igual a 0.005 seg, que es el mismo paso de tiempo con que fueron muestreados los registros. En la Figura III-72 se muestra como ejemplo la definición del análisis sísmico Llolleo 100-2010 en el software SAP2000, para el modelo del edificio sin AMS.

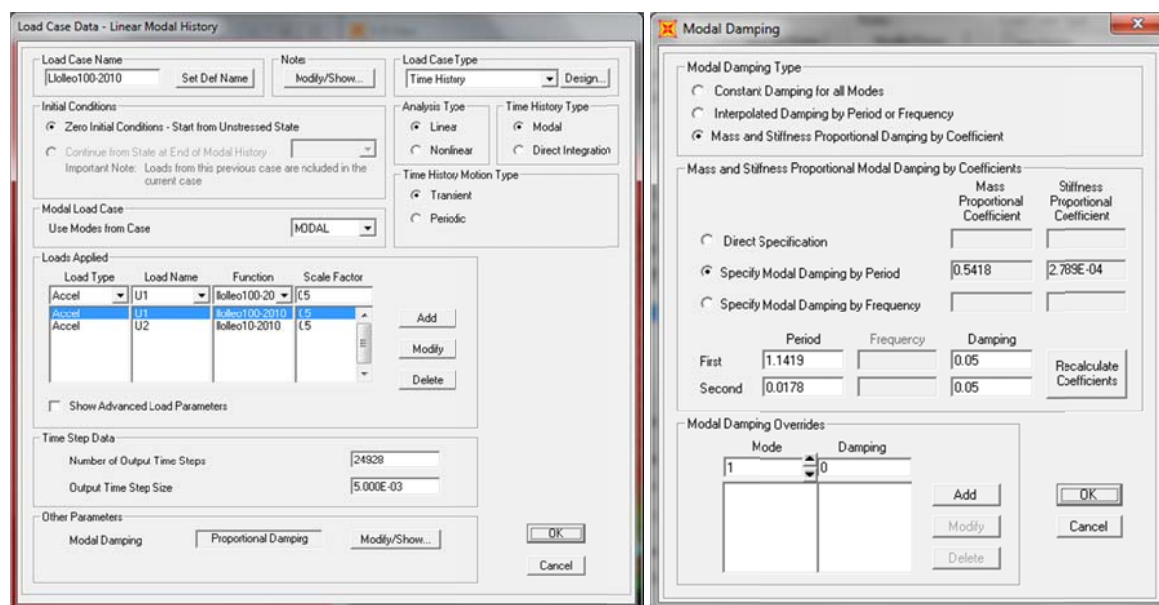


Figura III-72: Análisis Sísmico HRT Llolleo 100-2010 en software SAP200 Modelo sin AMS.

[Fuente: Elaboración Propia].

Tal como se aprecia en la figura anterior se consideró un factor de escala aplicado a los registros igual a 0.5, lo que es equivalente a considerar que $R=2$, según lo indica la Nch2745 para realizar los análisis sísmicos de edificios con sistemas de aislación.

En el caso de los modelos del edificio con AMS, como los aisladores poseen distinto nivel de amortiguamiento que el resto de la estructura no es posible considerar un amortiguamiento clásico, vale decir la matriz de amortiguamiento de la estructura con AMS no cumple con la propiedad de ortogonalidad con respecto a las formas modales (no es diagonalizable por la formas modales), en este caso no es posible realizar un análisis sísmico HRT a nivel modal, de acuerdo a esto se consideró realizar un análisis Fast Nonlinear, este método permite realizar un análisis HRT no lineal a nivel modal, este esquema de integración en el tiempo es mucho más eficiente que un análisis HRT por integración directa en términos de tiempos de procesos y su resultados son bastante precisos. En la Figura III-72 se muestra como ejemplo la definición del análisis sísmico Llolleo 100-2010 en el software SAP2000, para el modelo del edificio con AMS.

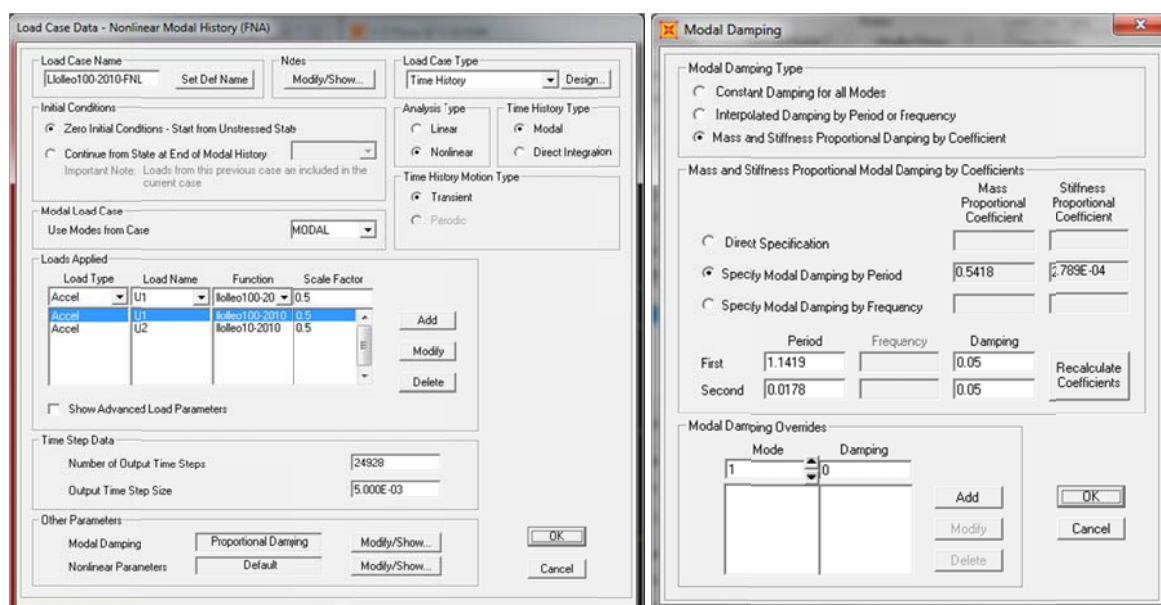


Figura III-73: Análisis Sísmico HRT Llolleo 100-2010 en software SAP2000 Modelo con AMS.

[Fuente: Elaboración Propia].

Al igual que en el caso anterior se consideró que la matriz de amortiguamiento de la estructura es proporcional a su matriz de masa y rigidez (Método Rayleigh), en forma interna el software adiciona el amortiguamiento de los aisladores a la matriz de amortiguamiento de la estructura en los grados de libertad en donde se encuentran colocados los aisladores.-

Para el caso especial de los modelos AMS7, AMS8, AMS9, AMS9-1 y AMS9-2, en donde a parte de los aisladores elastoméricos se colocaron deslizadores friccionales, previo a realizar el análisis sísmico se debió realizar una precarga sobre los deslizadores con las cargas gravitacionales que cada uno recibía. Esto se puede apreciar en la Figura III-74, en la cual se muestra como ejemplo el análisis GRAV-FNL en donde se aplican las cargas gravitacionales que descarga cada deslizador y el análisis Fast NonLinear utilizando el registro Lollole100-2010, en este se puede apreciar que las condiciones iniciales del análisis sísmico corresponde la precarga de los deslizadores.

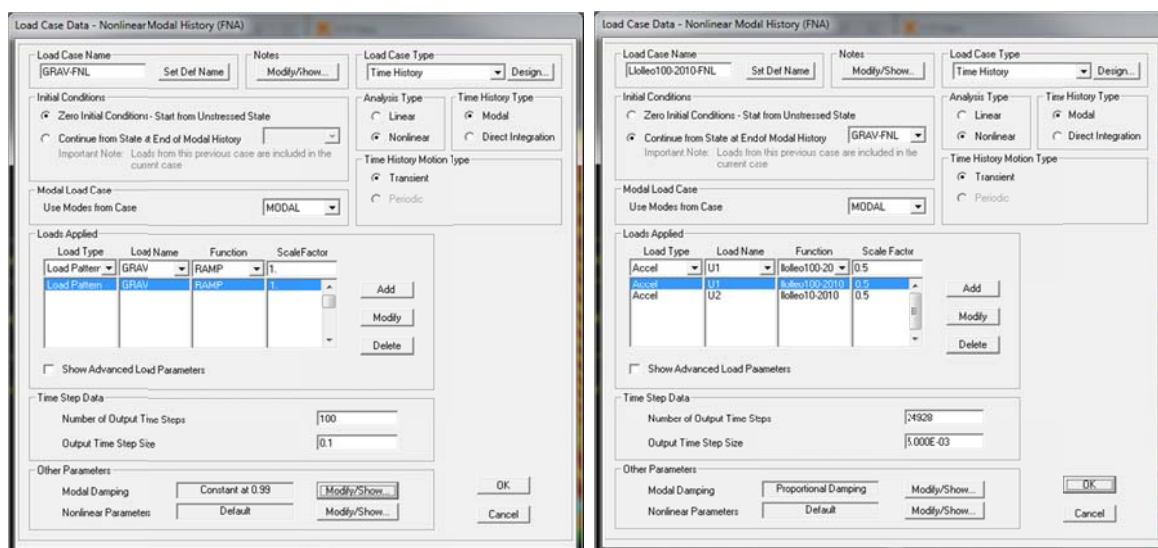


Figura III-74: Análisis Sísmico HRT Lollole 100-2010 en software SAP2000 Modelo con AMS y precarga GRAV-FNL.

[Fuente: Elaboración Propia].

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del análisis dinámico y análisis sísmico a la estructura original y a la estructura con los distintos AMS. Como respuestas a estudiar se consideraron los desplazamientos de los centros de masa de cada nivel y las fuerzas de corte a nivel basal.

IV.1 Periodos Naturales de Vibración de los Modelos con AMS.

En la Tablas del IV-1 al IV-13, se muestran los periodos naturales de vibración con los 10 primeros modos de los modelos del edificio con AMS, además se muestran los porcentajes de las masas modales equivalentes que mueve cada modo en las tres direcciones (X, Y y θ) que se mueve el centro de masa de cada nivel del edificio. Con color rojo se ha destacado el modo que mueve más masa en la dirección X, en color verde se ha destacado el modo que mueve más masa en la dirección Y y en color celeste se ha destacado el modo que mueve más masa en la dirección θ .

En la Tabla IV-1, se muestran las propiedades dinámicas del modelo del edificio con el AMS1-1, en este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y del AMS, ver Tabla III-2 y Tabla III-3.

Tabla IV-1: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS1-1.

	Estructura con AMS1-1			
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.4563	1.70	4.38	1.65
Modo 2	1.2907	28.09	4.97	1.12
Modo 3	1.1125	8.82	14.52	0.03
Modo 4	0.9824	23.50	6.23	1.97
Modo 5	0.9234	5.45	25.52	8.62
Modo 6	0.5858	0.44	10.67	41.76
Modo 7	0.3343	9.57	1.49	0.49
Modo 8	0.3089	2.21	8.97	0.51
Modo 9	0.1865	0.01	0.71	9.09
Modo 10	0.1812	2.36	3.24	0.70

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-2, se muestran las propiedades dinámicas del modelo del edificio con el AMS1, en este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección X del AMS, ver Tabla III-2 y Tabla III-4.

Tabla IV-2: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS1.

	Estructura con AMS1			
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.3292	2.98	7.14	2.23
Modo 2	1.2350	38.37	6.00	1.71
Modo 3	1.0469	9.11	23.23	0.48
Modo 4	0.9278	12.21	7.67	2.64
Modo 5	0.8765	4.95	11.56	6.90
Modo 6	0.5847	0.43	10.72	41.19
Modo 7	0.3339	9.53	1.49	0.49
Modo 8	0.3086	2.22	8.94	0.50
Modo 9	0.1864	0.00	0.72	9.11
Modo 10	0.1812	2.35	3.24	0.68

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-3, se muestran las propiedades dinámicas del modelo del edificio con el AMS2-1, en este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección X de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección X del AMS, ver Tabla III-2 y Tabla III-5.

En la Tabla IV-4, se muestran las propiedades dinámicas del modelo del edificio con el AMS2, en este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección X de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y del AMS, ver Tabla III-2 y Tabla III-6.

Tabla IV-3: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS2-1.

	Estructura con AMS2-1			
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.4465	1.76	4.52	1.68
Modo 2	1.2858	28.89	5.05	1.16
Modo 3	1.1070	8.96	15.11	0.04
Modo 4	0.9789	22.51	6.42	2.01
Modo 5	0.9207	5.45	24.51	8.52
Modo 6	0.5857	0.44	10.68	41.72
Modo 7	0.3342	9.56	1.49	0.49
Modo 8	0.3089	2.21	8.97	0.51
Modo 9	0.1865	0.01	0.71	9.09
Modo 10	0.1812	2.36	3.24	0.70

[Fuente: Elaboración Propia]

Tabla IV-4: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS2.

	Estructura con AMS2			
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.5924	1.18	3.01	1.31
Modo 2	1.3685	18.68	3.98	0.67
Modo 3	1.1944	6.25	8.55	0.03
Modo 4	1.0211	36.05	4.33	1.68
Modo 5	0.9489	5.37	35.76	9.36
Modo 6	0.5865	0.45	10.64	42.09
Modo 7	0.3346	9.59	1.49	0.49
Modo 8	0.3091	2.21	9.00	0.51
Modo 9	0.1865	0.01	0.70	9.07
Modo 10	0.1813	2.36	3.24	0.71

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-5, se muestran las propiedades dinámicas del modelo del edificio con el AMS3, en este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección θ de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección θ del AMS, ver Tabla III-2 y Tabla III-7.

Tabla IV-5: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS3.

	Estructura con AMS3			
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.1481	59.61	4.25	2.00
Modo 2	1.0424	6.34	50.20	8.32
Modo 3	0.6026	0.55	9.50	43.60
Modo 4	0.4386	3.52	0.23	0.53
Modo 5	0.4129	0.51	4.97	0.17
Modo 6	0.3522	2.19	0.59	1.01
Modo 7	0.3101	5.66	1.32	0.50
Modo 8	0.2851	1.62	5.97	0.09
Modo 9	0.1848	0.04	1.55	9.84
Modo 10	0.1789	2.27	2.41	0.04

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-6, se muestran las propiedades dinámicas del modelo del edificio con el AMS4, en este caso se consideró romper el acoplamiento dinámico entre los movimientos (X, Y y θ) del AMS, consiguiendo un AMS desacoplado en cada una de las direcciones, para este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con las frecuencias de Vibración en las 3 direcciones del AMS, ver Tabla III-2 y Tabla III-8.

Tabla IV-6: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS4.

	Estructura con AMS4			
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.2380	40.68	3.76	1.45
Modo 2	1.1768	4.61	25.05	3.71
Modo 3	1.0941	0.03	1.85	0.94
Modo 4	0.9348	19.85	0.75	0.83
Modo 5	0.8890	2.41	24.42	6.38
Modo 6	0.5856	0.48	10.51	41.84
Modo 7	0.3339	9.55	1.47	0.49
Modo 8	0.3084	2.19	8.96	0.50
Modo 9	0.1865	0.00	0.74	9.15
Modo 10	0.1812	2.36	3.20	0.65

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-7, se muestran las propiedades dinámicas del modelo del edificio con el AMS5, en este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y del AMS, así como también se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección X de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección X del AMS, logrando una sintonía en ambas direcciones simultáneamente, ver Tabla III-2 y Tabla III-10.

Tabla IV-7: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS5.

	Estructura con AMS5			
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.2599	36.33	0.14	0.81
Modo 2	1.1936	1.07	26.61	2.31
Modo 3	1.0200	18.51	8.52	4.44
Modo 4	0.9286	9.36	7.53	5.24
Modo 5	0.8340	2.24	13.53	0.60
Modo 6	0.5845	0.54	10.02	41.77
Modo 7	0.3340	9.56	1.45	0.49
Modo 8	0.3081	2.17	8.98	0.48
Modo 9	0.1865	0.00	0.75	9.16
Modo 10	0.1812	2.38	3.16	0.63

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-8, se muestran las propiedades dinámicas del modelo del edificio con el AMS6, en este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y y dirección X del AMS, además se consideró desacoplar los movimientos (X, Y, θ) del AMS aumentando la rigidez torsional del AMS para diferenciarlo del modelo AMS4, ver Tabla III-2 y Tabla III-12.

En la Tabla IV-9, se muestran las propiedades dinámicas del modelo del edificio con el AMS7, en este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y del AMS, además se

consiguió un aumento de la rigidez torsional del AMS, en relación al modelo de AMS6 y se colocaron deslizadores sísmicos, ver Tabla III-2 y Tabla III-14.

Tabla IV-8: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS6.

	Estructura con AMS6			
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.2378	41.43	3.42	1.19
Modo 2	1.1741	3.71	27.25	3.10
Modo 3	0.9410	11.09	1.86	4.23
Modo 4	0.9235	10.54	1.56	3.01
Modo 5	0.8776	0.82	22.07	2.39
Modo 6	0.5835	0.47	10.17	41.25
Modo 7	0.3339	9.57	1.46	0.48
Modo 8	0.3083	2.17	8.98	0.49
Modo 9	0.1865	0.00	0.73	9.13
Modo 10	0.1812	2.37	3.19	0.66

[Fuente: Elaboración Propia]

Tabla IV-9: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS7.

	Estructura con AMS7			
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.2567	36.88	2.79	1.42
Modo 2	1.1738	2.99	27.78	2.91
Modo 3	0.9813	23.74	0.03	0.20
Modo 4	0.9073	0.32	15.38	9.61
Modo 5	0.8520	3.60	10.26	0.01
Modo 6	0.5831	0.53	10.09	41.02
Modo 7	0.3340	9.54	1.47	0.49
Modo 8	0.3083	2.20	8.97	0.49
Modo 9	0.1865	0.00	0.74	9.14
Modo 10	0.1812	2.37	3.19	0.66

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-10, se muestran las propiedades dinámicas del modelo del edificio con el AMS8, en este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y del AMS, además se

consiguió un aumento de la rigidez torsional del AMS, en relación al modelo de AMS7, ver Tabla III-2 y Tabla III-16.

Tabla IV-10: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS8.

	Estructura con AMS8			
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.2429	38.58	4.49	1.55
Modo 2	1.1769	6.03	25.07	2.88
Modo 3	0.9421	20.03	1.67	0.65
Modo 4	0.8919	2.61	22.39	7.78
Modo 5	0.8435	0.32	2.69	2.01
Modo 6	0.5815	0.48	10.02	40.29
Modo 7	0.3339	9.54	1.48	0.49
Modo 8	0.3084	2.19	8.97	0.49
Modo 9	0.1864	0.00	0.72	9.12
Modo 10	0.1812	2.37	3.20	0.67

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-11, se muestran las propiedades dinámicas del modelo del edificio con el AMS9, en este caso se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección Y de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección Y del AMS, además se consiguió un aumento de la rigidez torsional del AMS, en relación al modelo de AMS7 y AMS8, ver Tabla III-2 y Tabla III-18.

Tabla IV-11: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS9.

	Estructura con AMS9			
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.2397	40.59	3.64	1.31
Modo 2	1.1736	4.10	27.01	2.83
Modo 3	0.9379	20.82	0.59	0.57
Modo 4	0.8970	2.04	21.81	8.73
Modo 5	0.7531	0.02	4.16	2.97
Modo 6	0.5779	0.48	9.13	38.77
Modo 7	0.3339	9.57	1.46	0.48
Modo 8	0.3082	2.17	9.00	0.48
Modo 9	0.1864	0.00	0.72	9.11
Modo 10	0.1811	2.38	3.18	0.67

[Fuente: Elaboración Propia]

IV.2 Fuerzas de Corte Basal.

A continuación se muestran los valores de las fuerzas de corte obtenidas de los análisis sísmicos realizados al modelo del edificio original y a los modelos con AMS, en la Tabla IV-12 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio sin AMS en la dirección X y en la dirección Y. De esta se puede apreciar que aun cuando los registros artificiales fueron ajustados al mismo espectro de diseño, los niveles de corte basal son bastante disímiles entre ellos por cada respuesta, esta diferencia es mucho mayor en la fuerza de corte en la dirección X que en la fuerza de corte en la dirección Y.

Tabla IV-12: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio sin AMS.

Análisis		Estructura sin AMS			
		Qx [ton]	Qy [ton]	Qx max [ton]	Qy max [ton]
Llolleo100-2010	Max	4036.46	4059.47	4037.80	4274.05
	Min	-4037.80	-4274.05		
Llolleo10-2010	Max	5027.53	3738.71	5666.59	4948.61
	Min	-5666.59	-4948.61		
Llolleo100-1985	Max	3647.40	4939.17	4080.24	4939.17
	Min	-4080.24	-3746.37		
Llolleo10-1985	Max	4592.82	5133.53	4793.93	5133.53
	Min	-4793.93	-3952.23		
Viña290-1985	Max	4484.54	4965.25	4484.54	4965.25
	Min	-4217.16	-4320.47		
Viña200-1985	Max	3563.71	4501.73	3575.39	4817.99
	Min	-3575.39	-4817.99		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-13 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS1-1 en la dirección X e Y.

Tabla IV-13: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS1-1.

Análisis		Estructura con AMS1-1			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	3628.62	3863.94	3628.62	3863.94
	Min	-3315.73	-3643.41		
Llolleo10-2010	Max	2916.40	4375.61	3262.92	4375.61
	Min	-3262.92	-4357.87		
Llolleo100-1985	Max	3369.86	3307.01	3768.73	3695.74
	Min	-3768.73	-3695.74		
Llolleo10-1985	Max	3454.50	4294.27	3515.67	4294.27
	Min	-3515.67	-3397.18		
Viña290-1985	Max	3175.22	3608.22	3741.02	3608.22
	Min	-3741.02	-3492.96		
Viña200-1985	Max	2904.39	3896.38	3095.84	3896.38
	Min	-3095.84	-3473.02		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-14 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS1 en la dirección X e Y.

Tabla IV-14: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS1.

Análisis		Estructura con AMS1			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	3066.68	3666.76	3066.68	3666.76
	Min	-2852.38	-3261.47		
Llolleo10-2010	Max	2851.00	3980.33	3083.84	3980.33
	Min	-3083.84	-3906.75		
Llolleo100-1985	Max	3351.91	3061.03	4060.04	3914.67
	Min	-4060.04	-3914.67		
Llolleo10-1985	Max	3988.29	4185.36	4027.86	4185.36
	Min	-4027.86	-2955.25		
Viña290-1985	Max	3386.10	3755.86	3759.31	3755.86
	Min	-3759.31	-3369.46		
Viña200-1985	Max	2844.04	3762.40	3144.22	3762.40
	Min	-3144.22	-3213.31		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-15 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS2-1 en la dirección X e Y.

Tabla IV-15: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS2-1.

Análisis		Estructura con AMS2-1			
		Qx [ton]	Qy [ton]	Qx max [ton]	Qy max [ton]
Llolleo100-2010	Max	3584.33	3850.97	3584.33	3850.97
	Min	-3267.91	-3623.09		
Llolleo10-2010	Max	2911.25	4349.61	3246.24	4349.61
	Min	-3246.24	-4333.30		
Llolleo100-1985	Max	3367.92	3284.15	3779.26	3707.67
	Min	-3779.26	-3707.67		
Llolleo10-1985	Max	3498.32	4291.99	3549.05	4291.99
	Min	-3549.05	-3368.05		
Viña290-1985	Max	3192.91	3601.83	3748.25	3601.83
	Min	-3748.25	-3496.29		
Viña200-1985	Max	2891.57	3891.87	3103.73	3891.87
	Min	-3103.73	-3463.34		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-16 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS2 en la dirección X e Y.

En la Tabla IV-17 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS3 en la dirección X e Y.

Tabla IV-16: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS2.

Análisis		Estructura con AMS2			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	4009.02	3936.70	4009.02	3936.70
	Min	-3842.28	-3789.87		
Llolleo10-2010	Max	2944.71	4579.61	3433.15	4579.61
	Min	-3433.15	-4513.33		
Llolleo100-1985	Max	3279.38	3611.17	3826.07	3641.42
	Min	-3826.07	-3641.42		
Llolleo10-1985	Max	3398.86	4290.44	3398.86	4290.44
	Min	-3304.37	-3592.93		
Viña290-1985	Max	3307.78	3835.95	3662.94	3835.95
	Min	-3662.94	-3499.05		
Viña200-1985	Max	3067.05	4171.52	3067.05	4171.52
	Min	-3057.75	-3700.88		

[Fuente: Elaboración Propia]

Tabla IV-17: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS3.

Análisis		Estructura con AMS3			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	3609.11	3490.41	3912.22	3490.41
	Min	-3912.22	-3299.00		
Llolleo10-2010	Max	4139.86	3994.18	4507.25	4614.18
	Min	-4507.25	-4614.18		
Llolleo100-1985	Max	3248.76	4396.94	3756.35	4396.94
	Min	-3756.35	-3594.75		
Llolleo10-1985	Max	4256.02	4465.47	4375.91	4465.47
	Min	-4375.91	-3253.11		
Viña290-1985	Max	4672.86	4107.64	4672.86	4107.64
	Min	-4588.56	-3816.14		
Viña200-1985	Max	3394.81	4189.40	3394.81	4189.40
	Min	-3258.05	-3842.86		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-18 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS4 en la dirección X e Y.

Tabla IV-18: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS4.

Análisis		Estructura con AMS4			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	3381.74	3740.42	3381.74	3740.42
	Min	-3144.63	-3166.17		
Llolleo10-2010	Max	2867.27	4181.94	3155.79	4181.94
	Min	-3155.79	-3980.33		
Llolleo100-1985	Max	3301.39	3105.50	3995.42	3872.14
	Min	-3995.42	-3872.14		
Llolleo10-1985	Max	3831.05	3835.55	3831.05	3835.55
	Min	-3818.62	-3031.46		
Viña290-1985	Max	3263.75	3195.31	3773.99	3673.32
	Min	-3773.99	-3673.32		
Viña200-1985	Max	2849.98	3633.48	3220.02	3642.30
	Min	-3220.02	-3642.30		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-19 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS5 en la dirección X e Y.

Tabla IV-19: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS5.

Análisis		Estructura con AMS5			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	3245.41	3572.89	3245.41	3572.89
	Min	-3004.08	-2874.48		
Llolleo10-2010	Max	2670.64	3839.00	3013.47	3839.00
	Min	-3013.47	-3570.23		
Llolleo100-1985	Max	3488.14	2906.18	3933.40	3756.62
	Min	-3933.40	-3756.62		
Llolleo10-1985	Max	3729.75	3595.84	3729.75	3595.84
	Min	-3727.99	-3152.93		

Tabla IV-19: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS5. (Cont.)

		Estructura con AMS5			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
Análisis		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Viña290-1985	Max	3355.36	3515.61	3661.80	3515.61
	Min	-3661.80	-3442.58		
Viña200-1985	Max	2986.13	3416.65	3018.92	3416.65
	Min	-3018.92	-3323.22		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-20 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS6 en la dirección X e Y.

Tabla IV-20: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS6.

		Estructura con AMS6			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
Análisis		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	3380.61	3661.20	3380.61	3661.20
	Min	-3137.04	-3081.12		
Llolleo10-2010	Max	2863.10	4130.10	3177.93	4130.10
	Min	-3177.93	-3858.40		
Llolleo100-1985	Max	3303.99	3047.38	3988.88	3786.59
	Min	-3988.88	-3786.59		
Llolleo10-1985	Max	3840.96	3708.95	3840.96	3708.95
	Min	-3806.29	-2987.52		
Viña290-1985	Max	3249.68	3152.78	3764.10	3622.95
	Min	-3764.10	-3622.95		
Viña200-1985	Max	2835.45	3524.55	3219.50	3599.29
	Min	-3219.50	-3599.29		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-21 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS7 en la dirección X e Y.

Tabla IV-21: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS7.

Análisis		Estructura con AMS7			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	3444.12	3270.57	3444.12	3270.57
	Min	-3247.34	-2925.47		
Llolleo10-2010	Max	3082.49	4077.98	3346.28	4077.98
	Min	-3346.28	-3798.35		
Llolleo100-1985	Max	3239.17	3045.06	4094.51	3564.33
	Min	-4094.51	-3564.33		
Llolleo10-1985	Max	3564.89	3402.94	3706.14	3402.94
	Min	-3706.14	-2894.69		
Viña290-1985	Max	3272.22	3309.46	3718.95	3309.46
	Min	-3718.95	-3245.05		
Viña200-1985	Max	2743.28	3420.77	3134.11	3420.77
	Min	-3134.11	-3091.15		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-22 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS8 en la dirección X e Y.

Tabla IV-22: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS8.

Análisis		Estructura con AMS8			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	3398.70	3280.50	3398.70	3280.50
	Min	-3236.43	-2921.79		
Llolleo10-2010	Max	3101.46	4083.80	3312.03	4083.80
	Min	-3312.03	-3788.84		
Llolleo100-1985	Max	3132.41	3028.22	4097.34	3556.86
	Min	-4097.34	-3556.86		
Llolleo10-1985	Max	3643.29	3449.05	3763.82	3449.05
	Min	-3763.82	-2972.57		
Viña290-1985	Max	3315.24	3335.68	3743.72	3335.68
	Min	-3743.72	-3162.74		
Viña200-1985	Max	2768.25	3473.85	3097.53	3473.85
	Min	-3097.53	-3094.73		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-23 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS9 en la dirección X e Y.

Tabla IV-23: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS9.

Análisis		Estructura con AMS9			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	3379.55	3206.17	3379.55	3206.17
	Min	-3223.14	-2913.40		
Llolleo10-2010	Max	3129.50	3977.26	3311.26	3977.26
	Min	-3311.26	-3658.64		
Llolleo100-1985	Max	3145.91	2822.57	4096.70	3427.65
	Min	-4096.70	-3427.65		
Llolleo10-1985	Max	3666.53	3311.60	3791.89	3311.60
	Min	-3791.89	-2934.63		
Viña290-1985	Max	3341.54	3306.57	3736.95	3306.57
	Min	-3736.95	-3116.92		
Viña200-1985	Max	2750.35	3391.01	3068.74	3391.01
	Min	-3068.74	-3037.47		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-24 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS9-1 en la dirección X e Y.

Tabla IV-24: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS9-1.

Análisis		Estructura con AMS9-1			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	3391.39	3267.94	3391.39	3267.94
	Min	-3223.13	-2886.15		
Llolleo10-2010	Max	3070.05	3996.07	3249.62	3996.07
	Min	-3249.62	-3669.31		
Llolleo100-1985	Max	3138.67	2817.83	4085.12	3430.52
	Min	-4085.12	-3430.52		
Llolleo10-1985	Max	3696.42	3335.06	3775.17	3335.06
	Min	-3775.17	-2960.98		

Tabla IV-24: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS9-1. (Cont.)

		Estructura con AMS9-1			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
Análisis		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Viña290-1985	Max	3295.08	3255.73	3726.09	3255.73
	Min	-3726.09	-3169.40		
Viña200-1985	Max	2758.14	3354.38	3084.83	3354.38
	Min	-3084.83	-3057.71		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-25 se aprecian las fuerzas de corte máximas desarrolladas en el edificio con AMS9-2 en la dirección X e Y.

Tabla IV-25: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS9-2.

		Estructura con AMS9-2			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
Análisis		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	3371.28	3146.66	3371.28	3146.66
	Min	-3235.68	-2939.02		
Llolleo10-2010	Max	3191.08	3965.83	3374.61	3965.83
	Min	-3374.61	-3656.79		
Llolleo100-1985	Max	3156.12	2837.17	4117.72	3435.52
	Min	-4117.72	-3435.52		
Llolleo10-1985	Max	3649.43	3289.70	3815.53	3289.70
	Min	-3815.53	-2912.57		
Viña290-1985	Max	3387.93	3360.99	3742.85	3360.99
	Min	-3742.85	-3060.12		
Viña200-1985	Max	2737.19	3415.38	3050.12	3415.38
	Min	-3050.12	-3051.83		

[Fuente: Elaboración Propia]

Una vez obtenidas las fuerzas de corte máximas registradas de los análisis sísmicos en cada modelo, se obtuvo la reducción de la fuerza cortante a nivel basal obteniendo las reducciones por cada análisis. Esto es:

$$\% Qx = \frac{Qx_{\sin AMS} - Qx_{\text{con AMS}}}{Qx_{\sin AMS}} * 100$$

$$\% Q_y = \frac{Q_{y \text{ sin AMS}} - Q_{y \text{ con AMS}}}{Q_{y \text{ sin AMS}}} * 100$$

Dónde:

$\% Q_{x,y}$ = Porcentaje de reducción de la fuerza cortante a nivel basal del edificio medida en la dirección X o Y según corresponda.-

$Q_{x,y \text{ sin AMS}}$ = Fuerza cortante a nivel basal del edificio sin AMS medida en la dirección X o Y según corresponda.-

$Q_{x,y \text{ con AMS}}$ = Fuerza cortante a nivel basal del edificio con AMS medida en la dirección X o Y según corresponda.-

En la Figura IV-1 se pueden apreciar los porcentajes de reducción de la fuerza de corte basal medida en la dirección X, $\% Q_x$ (barras azules), así como también la reducción de la fuerza de corte basal medida en la dirección Y, $\% Q_y$ (barras rojas), de todos los modelos de AMS estudiados y para todos los análisis sísmicos realizados. De estos gráficos se puede apreciar que los niveles de reducción son distintos para ambas respuestas, en cada uno de los modelos estudiados y en cada análisis sísmico realizado, vale decir el nivel de reducción de respuesta depende del tipo de respuesta analizada y de la excitación. Como era de esperarse los niveles de reducción de respuesta entre cada modelo de AMS son distintos.

Si miramos las reducciones de respuesta de los modelos del análisis sísmico Llolleo 100-2010 (gráfico a) de la Figura IV-1), se puede apreciar que el modelo que alcanza una mayor reducción de respuesta $\% Q_x$ (barras azules) es el modelo AMS1, modelo en donde se sintonizó la frecuencia natural de vibración de la estructura original en la dirección Y, con la frecuencia natural del AMS en la dirección X (sintonía cruzada) y el modelo que obtuvo una menor reducción en esta respuesta es el modelo AMS2, modelo en donde se sintonizó la frecuencia natural de vibración de la estructura original en la dirección X, con la frecuencia natural del AMS en la dirección Y (sintonía cruzada). En el caso de la reducción de respuesta $\% Q_y$ la mayor reducción de respuesta se alcanza en los modelos AMS7, AMS8, AMS9, AMS9-1 y AMS9-9, en estos casos se sintonizó la frecuencia natural de vibración de la estructura original en la dirección Y, con la frecuencia natural del AMS en la dirección Y, este modelo además contiene deslizadores friccionales los que

permiten aumentar el nivel de amortiguamiento del, al igual que la respuesta Qx, el modelo en donde se alcanzó una menor reducción de dicha respuesta fue en el modelo AMS2.

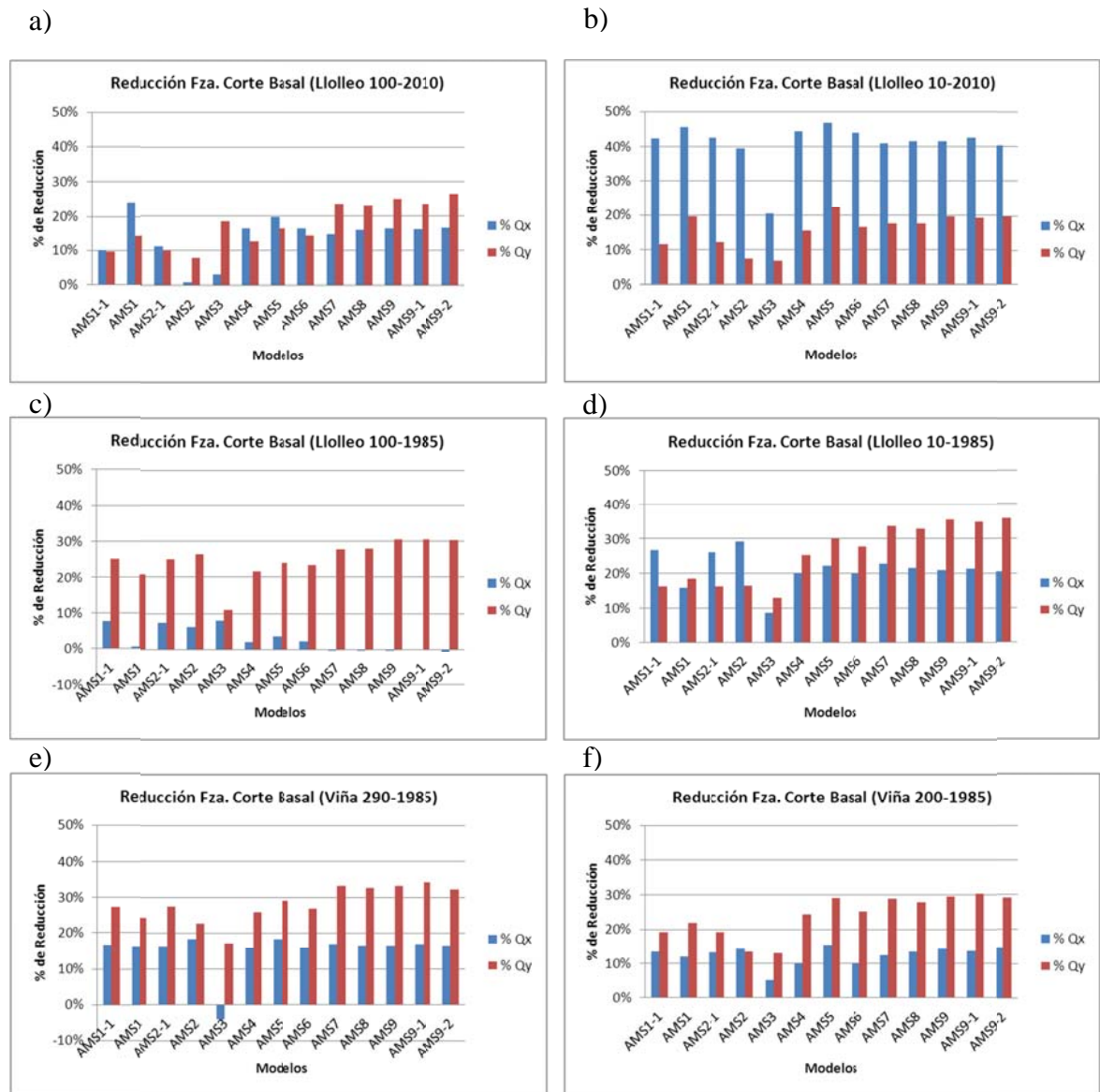


Figura IV-1: Porcentaje de Reducción de las Fuerzas Cortantes de los Modelos con AMS. [Fuente: Elaboración Propia]

La respuesta Qx se ve influenciada mayormente por la excitación Lollole 100-2010 (efecto de la excitación directa con la respuesta), al revisar los motivos que producen una menor reducción de esta respuesta % Qx evidenciada en el modelo AMS2, veremos que al revisar la cantidad de energía que la excitación Lollole 100-2010 le entregan a las estructuras,

debemos comparar el FAS (Amplitud del Espectro de Fourier) del modo de vibración que arrastra más masa en la dirección X del modelo AMS2, ($f_x = 0.979$ 1/seg) con el FAS del modelo original del modo que arrastra más masa en la dirección X ($f_x = 0.876$ 1/seg), en la Figura III-29, se puede apreciar que para el modelo AMS2 el registro sísmico le imprime mayor cantidad de energía que a la estructura original, ya que el FAS asociado a la frecuencia de vibración de la estructura original es menor que el FAS asociado a la frecuencia de vibración de la estructura que tiene el AMS2 en los modos que arrastran mayor masa traslacional en la dirección X, por lo que el efecto de disipación del AMS2 en la respuesta Q_x se ve reducido o anulado debido a que la estructura con AMS2 recibe mayor cantidad de energía que la estructura original. En el caso de la respuesta Q_y , esta se ve más influenciada por la energía que le imprime a la estructura el registro Llolleo 10-2010 (la excitación en la misma dirección que la respuesta), al comparar el FAS (Amplitud del espectro de Fourier) del modo de vibración que arrastra más masa en la dirección Y del modelo AMS2, ($f_y = 1.054$ 1/seg) con el FAS del modelo original del modo que arrastra más masa en la dirección Y ($f_y = 0.964$ 1/seg), en la Figura III-36, se puede apreciar que para el modelo AMS2 el registro sísmico le imprime mayor cantidad de energía que a la estructura original, por lo que el efecto de disipación del AMS2 en la respuesta Q_y se ve reducido o anulado debido a que la estructura con AMS2 recibe mayor cantidad de energía que la estructura original.

Si miramos las reducciones de respuesta de los modelos del análisis sísmico Llolleo 10-2010 (gráfico b) de la Figura IV-1), se puede apreciar que la reducción en la respuesta Q_x es prácticamente el doble que la reducción de la respuesta Q_y , considerándose en promedio una reducción de 40% en la mayoría de los modelos. El modelo que alcanza una mayor reducción de respuesta % Q_x (barras azules) es el modelo AMS5, modelo en donde se sintonizaron las frecuencias naturales de vibración de la estructura original en la dirección X e Y, con las frecuencias naturales del AMS en las direcciones X e Y respectivamente, el modelo que obtuvo una menor reducción en esta respuesta es el modelo AMS3 modelo en donde se sintonizó la frecuencia natural de vibración de la estructura original en la dirección θ , con la frecuencia natural del AMS en la dirección θ . La mayor reducción de la respuesta Q_y se alcanza en el modelo AMS5, el modelo que obtuvo una menor reducción

en esta respuesta es el modelo AMS3, si bien es cierto las propiedades dinámicas de la estructura original con las propiedades dinámicas de la estructura con AMS3 no cambiaron sustancialmente, para este caso de análisis la menor reducción se debe a que el efecto de disipación del AMS3 afecta en menor medida a las respuestas Q_x y Q_y , ya que la sintonía de este AMS se produce para el modo torsional.

Al revisar las reducciones de respuesta de los modelos del análisis sísmico Llolleo 100-1985 (gráfico c) de la Figura IV-1), se puede apreciar que la reducción en la respuesta Q_x es menor al 10% y en algunos modelos la reducción es negativa, vale decir la respuesta del modelo original es menor que la respuesta de algunos modelos con AMS, o sea el AMS genera una amplificación de dicha respuesta, mientras que la reducción en la respuesta Q_y en la mayoría de los modelos se encuentra entre el 20% al 30%. El modelo que alcanza una mayor reducción de respuesta % Q_x (barras azules) es el modelo AMS1-1, modelo en donde se sintonizó la frecuencia natural de vibración de la estructura original en la dirección Y, con la frecuencia natural del AMS en la dirección Y, el modelo que obtuvo una menor reducción en esta respuesta es el modelo AMS9-2 modelo en donde se sintonizó la frecuencia natural de vibración de la estructura original en la dirección Y, con la frecuencia natural del AMS en la dirección Y. La mayor reducción de la respuesta Q_y se alcanza en el modelo AMS9 y el modelo en donde se obtuvo la menor reducción en esta respuesta fue en el modelo AMS3.

En el gráfico d) de la Figura IV-1 se muestran las reducciones de las respuestas Q_x y Q_y correspondientes al análisis sísmico Llolleo 10-1985, de estos se aprecia que la mayor reducción de la respuesta % Q_x se obtuvo en el modelo AMS2 y la menor reducción se obtuvo en el modelo AMS3. La mayor reducción en la respuesta Q_y fu obtenida por el modelo AMS9-2 y el modelo en donde se obtuvo una menor reducción de dicha respuesta se obtuvo en el modelo AMS3.

En el gráfico e) de la Figura IV-1 se muestran las reducciones de las respuestas Q_x y Q_y correspondientes al análisis sísmico Viña 290-1985, de este se aprecia que la mayor reducción de la respuesta % Q_x se obtuvo en el modelo AMS5 y la menor reducción se

obtuvo en el modelo AMS3, en este caso la reducción es negativa lo que nos indica que la respuesta del modelo con AMS3 es superior a la respuesta del modelo de la estructura original. La mayor reducción en la respuesta Q_y fue obtenida por el modelo AMS9-1 y el modelo en donde se obtuvo una menor reducción de dicha respuesta se obtuvo en el modelo AMS3.

En el gráfico f) de la Figura IV-1 se muestran las reducciones de las respuestas Q_x y Q_y correspondientes al análisis sísmico Viña 200-1985, en este se aprecia que la mayor reducción de la respuesta Q_x se obtiene en el modelo AMS5 y la menor reducción se obtiene en el modelo AMS3, para la respuesta Q_y la mayor reducción se logra en con el modelo AMS9-1 y la menor se obtiene con el modelo AMS3.

En la Figura IV-1, además se puede apreciar que independiente del análisis realizado los niveles de reducción de las respuestas Q_x y Q_y se mantienen más o menos iguales en los modelos AMS9, AMS9-1 y AMS-2, esto nos indica que para la misma sintonía el nivel de reducción de respuesta no se ve mayormente afectado al aumentar o reducir el nivel de amortiguamiento del AMS que aportan los deslizadores friccionales.

En la Tabla IV-26 se muestra un resumen de los porcentajes de reducción máximos y mínimos de las fuerzas de corte Q_x y Q_y para cada análisis y los modelos en donde se registraron estos valores.

Tabla IV-26: Resumen de Reducciones de las Respuestas Q_x y Q_y .

		Llolleo 100-2010		Llolleo 10-2010		Llolleo 100-1985		Llolleo 10-1985		Viña 290-1985		Llolleo 200-1985	
		% Red.	Modelo	% Red.	Modelo	% Red.	Modelo	% Red.	Modelo	% Red.	Modelo	% Red.	Modelo
Q_x	Mín.	0.71%	AMS2	20.46%	AMS3	-0.92%	AMS9-2	8.72%	AMS3	-4.20%	AMS3	5.05%	AMS3
	Máx.	24.05%	AMS1	46.82%	AMS5	7.94%	AMS3	29.10%	AMS2	18.35%	AMS5	15.56%	AMS5
Q_y	Mín.	7.89%	AMS2	6.76%	AMS3	10.98%	AMS3	13.01%	AMS3	17.27%	AMS3	13.05%	AMS3
	Máx.	26.38%	AMS9-2	22.42%	AMS5	30.60%	AMS9	35.92%	AMS9-2	34.43%	AMS9-1	30.38%	AMS9-1

[Fuente: Elaboración Propia]

Tal como se aprecia en la tabla anterior no hay un único modelo de AMS que para cada análisis reporte las mayores o menores reducciones en ambas respuestas Q_x y Q_y , ya que en algunos análisis el modelo de un AMS genera mayores reducciones y para otros análisis el mismo modelo de AMS reporta las menores. Esto nos indica que el porcentaje de reducción de respuesta a parte de la sintonía que se genere entre el AMS y la estructura principal también depende de la excitación utilizada para realizar el análisis sísmico.-

No necesariamente al sintonizar el AMS en una dirección se consiguió para ese AMS la mayor reducción de la fuerza de corte medida en la misma dirección. En algunos casos se consiguió con la sintonía cruzada y otras con la sintonía producida para la otra dirección de medición de la respuesta. Para el caso de la respuesta Q_x el AMS5 fue el que tuvo mejor desempeño en la mayoría de los análisis realizados, mientras que los modelos AMS9 fueron los que obtuvieron el mejor desempeño en la mayoría de los análisis realizados para la respuesta Q_y medida en la dirección Y. El modelo de AMS que tuvo el peor desempeño en la mayoría de los análisis realizados fue el AMS3 para ambas respuestas Q_x y Q_y .

Para efectos de diseño quedarse con los valores máximos de cada análisis puede ser poco representativo, por lo que se obtuvo el porcentaje promedio de la reducción de las fuerzas cortantes a nivel basal, para ello se calcularon para cada modelo las fuerzas cortantes promedio de todos los análisis realizados. Esto es:

$$\% Q_{x_{prom}} = \frac{Q_{x \text{ sin AMS prom}} - Q_{x \text{ con AMS prom}}}{Q_{x \text{ sin AMS prom}}} * 100$$

$$\% Q_{y_{prom}} = \frac{Q_{y \text{ sin AMS prom}} - Q_{y \text{ con AMS prom}}}{Q_{y \text{ sin AMS prom}}} * 100$$

Dónde:

$\% Q_{x,y_{prom}}$ = Porcentaje de reducción de la fuerza cortante promedio del edificio medida en la dirección X o Y según corresponda.-

$Q_{x,y \text{ sin AMS prom}}$ = Fuerza cortante promedio del edificio sin AMS medida en la dirección X o Y según corresponda, obtenida al promediar las seis fuerzas de corte obtenidas de los análisis sísmicos.-

$Q_{x,y \text{ con AMS prom}}$ = Fuerza cortante promedio del edificio con AMS medida en la dirección X o Y según corresponda, obtenida al promediar las seis fuerzas de corte obtenidas de los análisis sísmicos.-

En la Tabla IV-27 se pueden apreciar las reducciones promedio obtenidas de los seis análisis sísmicos realizados para cada modelo de AMS. En esta Tabla se puede apreciar que las mayores reducciones obtenidas de los promedios de las respuestas son del orden de 23% a 29%, valores parecidos a los indicados en la Tabla II-1, lo que nos sirve para poder validar los resultados. En esta tabla también podemos apreciar que el modelo de AMS con mayor reducción para la fuerza cortante promedio medida en la dirección X se obtuvo con el AMS5 y la mayor reducción obtenida en la fuerza cortante promedio medida en la dirección Y fueron para los modelos AMS9, AMS9-1 y AMS9-2. Las Menores reducciones obtenidas para las dos fuerzas promedio (Q_x y Q_y) se obtuvieron para el modelo AMS3.

Tabla IV-27: Resumen de Reducciones Promedio de las Respuestas Q_x y Q_y .

	AMS1-1	AMS1	AMS2-1	AMS2	AMS3	AMS4	AMS5	AMS6	AMS7	AMS8	AMS9	AMS9-1	AMS9-2
% $Q_{x \text{ prom}}$	21%	21%	21%	20%	8%	20%	23%	20%	19%	20%	20%	20%	19%
% $Q_{y \text{ prom}}$	18%	20%	19%	16%	13%	21%	25%	23%	28%	27%	29%	29%	29%

[Fuente: Elaboración Propia]

IV.3 Desplazamientos de los Centros de Masa.

Otra de las respuestas estudiadas fueron los desplazamientos máximos obtenidos en los Centros de Masa (CM) de cada nivel del edificio, para cada análisis sísmicos se obtuvieron los desplazamientos máximos medida en la dirección X (Δx_{max}), los desplazamientos máximos medidos en la dirección Y (Δy_{max}) y las rotaciones máximas (θ_{max}) de los CM del modelo del edificio original y de los modelos del edificio con AMS. Una vez obtenidos los desplazamientos máximos de los CM se obtuvieron los porcentajes de reducción de estas respuestas.

$$\% \Delta x = \frac{\Delta x_{\text{ sin AMS}} - \Delta x_{\text{ con AMS}}}{\Delta x_{\text{ sin AMS}}} * 100$$

$$\% \Delta y = \frac{\Delta y_{\sin AMS} - \Delta y_{\text{con AMS}}}{\Delta y_{\sin AMS}} * 100$$

$$\% \theta = \frac{\theta_{\sin AMS} - \theta_{\text{con AMS}}}{\theta_{\sin AMS}} * 100$$

Dónde:

- $\% \Delta x,y$ = Porcentaje de reducción del desplazamiento del CM medidos en la dirección X o Y según corresponda.-
- $\Delta x,y_{\sin AMS}$ = Desplazamiento del CM del edificio sin AMS medida en la dirección X o Y según corresponda.-
- $\Delta x,y_{\text{con AMS}}$ = Desplazamiento del CM del edificio con AMS medida en la dirección X o Y según corresponda.-
- $\% \theta$ = Porcentaje de reducción de la rotación del CM.-
- $\theta_{\sin AMS}$ = Rotación del CM del edificio sin AMS.-
- $\theta_{\text{con AMS}}$ = Rotación del CM del edificio con AMS.-

En la Figura IV-2 se muestran los porcentajes de reducción de los desplazamientos medidos en la dirección X del CM obtenidos del análisis sísmico L1ollole 100-2010, en el eje de las abscisas se indican los porcentajes de reducción y en las ordenadas el nivel de piso en el cual se registró dicha reducción. La mayor reducción se obtuvo en el modelo AMS1 para la mayoría de los pisos, los niveles de reducción van del orden de 28% obtenidos en el primer diafragma hasta 39% obtenido en el sexto diafragma. En el modelo AMS3 se registraron las menores reducciones en dicha respuesta, en los primeros niveles del edificio en lugar de generarse una reducción en la respuesta se obtuvo una amplificación de esta, vale decir la respuesta máxima medida en el modelo AMS3 fue mayor que la respuesta máxima registrada en el edificio original, en los últimos niveles del edificio el modelo AMS produjo una reducción en la respuesta alcanzando reducciones máximas de un 8% en el último nivel.

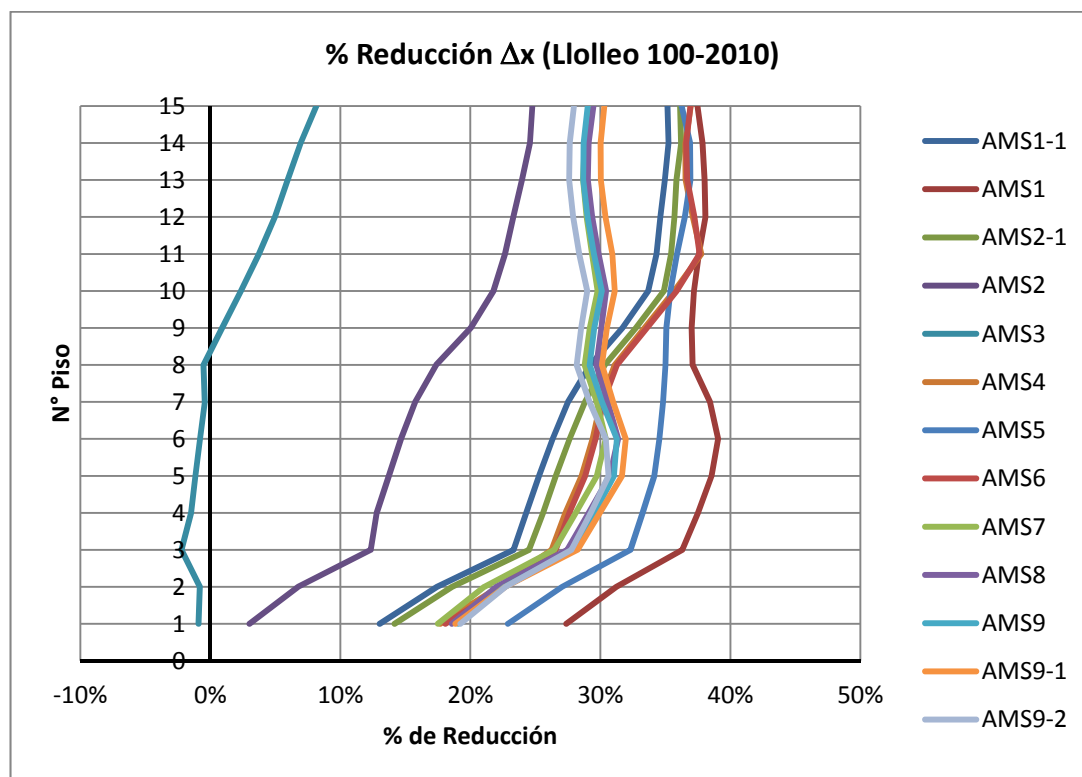


Figura IV-2: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección X de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 100-2010.
[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-3, se aprecian los porcentajes de reducción del desplazamiento del CM medidos en la dirección Y de los modelos obtenidos del análisis sísmico Llolleo 100-2010, de esta figura se observa que los modelos que produjeron mayores reducciones en esta respuesta son AMS5 y el AMS6, alcanzo reducciones de 20% para el primer nivel y de 38% para niveles intermedios, para esta respuesta la forma en la que se distribuye la reducción de la respuesta en la altura es prácticamente la misma para todos los modelos, se aprecia además que en algunos modelos la reducción máxima no se obtiene en el último nivel si no que en niveles intermedios. La menores reducciones fueron obtenidas en los modelos AMS3 y AMS2, en los primeros niveles alcanza reducciones del orden del 20% al 25 % mientras que en los niveles 13 y 14 se generan reducciones negativas y en el último nivel se generan reducciones del orden de 10% a 15%.

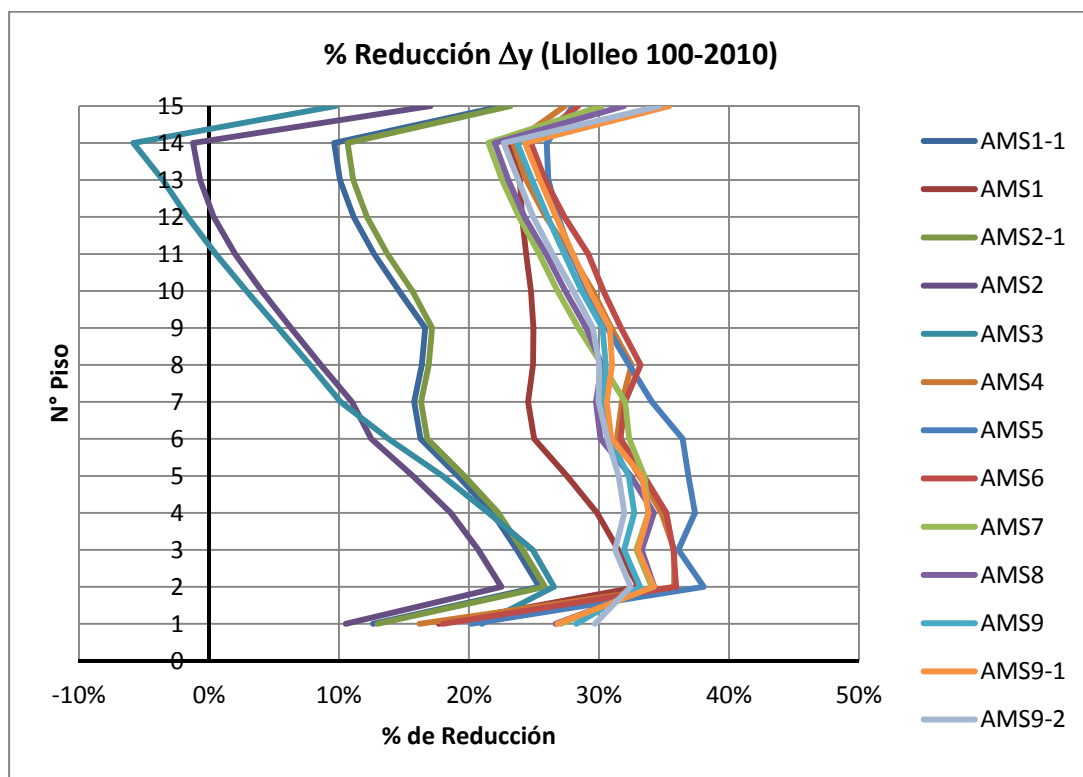


Figura IV-3: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección Y de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 100-2010.
[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-4, se muestran los porcentajes de reducción de las rotaciones de los CM obtenidos del análisis sísmico Llolleo 100-2010, al igual que la figura anterior la forma en la que se distribuyen los porcentajes de reducción de esta respuesta en la altura del edificio es parecida para cada modelo analizado. El modelo en el que se obtiene la mayor reducción de esta respuesta es el AMS1, se alcanzan porcentajes de reducción entre 26% al 32% en los pisos intermedios y superiores y de un 13% para el primer piso. El modelo en el que se obtiene la menor reducción es el AMS3 para los primeros niveles se obtiene una reducción de 19% y en los niveles del 10 al 13 se obtuvieron porcentajes de reducción negativas.

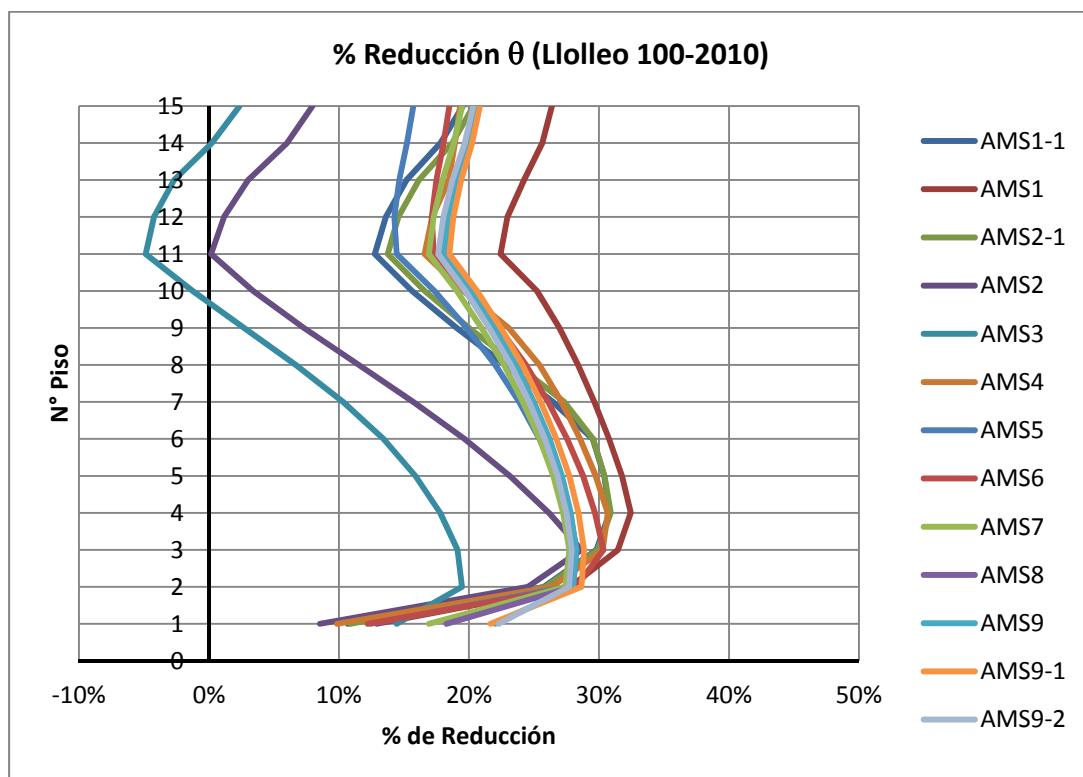


Figura IV-4: Porcentaje de Reducción de las Rotaciones de los CM de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 100-2010.

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-5 se muestra los porcentajes de reducción de los desplazamientos medidos en la dirección X de los CM obtenidos del análisis sísmico Llolleo 10-2010 para los modelos estudiados, en este caso la forma en la que se distribuye las reducciones de la respuesta en la altura del edificio adopta la misma forma para todos los modelos estudiados. La diferencia en la magnitud de las reducciones varía bastante poco entre un modelo y otro (variación menor al 10%). El modelo en donde se registran los mayores valores de reducción es el modelo AMS2-1 este modelo genera reducciones del orden de 40% a 50% en los niveles inferiores del edificio y de un 30% a un 40% en los niveles superiores, el modelo en donde se obtuvieron las menores reducciones fue en el modelo AMS3, en este modelo se registraron reducciones de 10% a un 20% en los pisos inferiores y reducciones negativas en los niveles superiores.

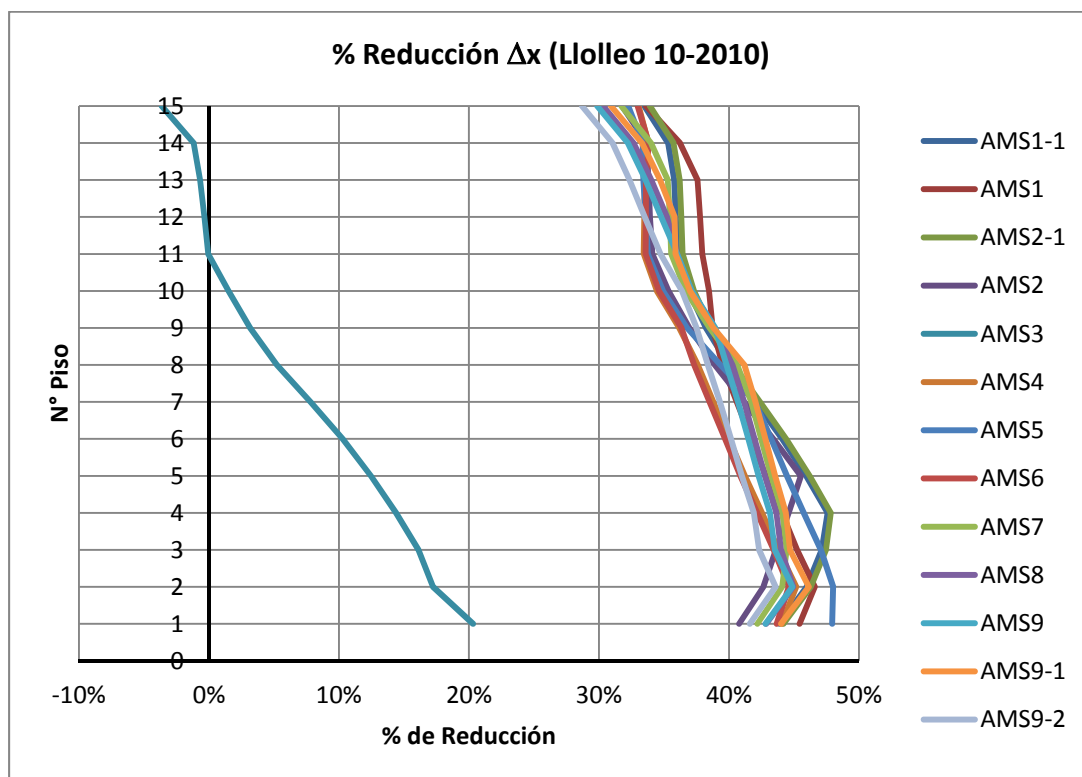


Figura IV-5: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección X de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 10-2010.
[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-6 se indican los porcentajes de reducción de la respuesta desplazamiento del CM medido en la dirección Y obtenida del análisis sísmico Llolleo 10-2010, el modelo en donde se alcanzan los mayores valores de reducción de esta respuesta fue en el modelo AMS5, en este modelo se alcanzaron reducciones entre el 25% al 35%. Los modelos donde se generaron menores reducciones fueron en los modelos AMS3 y AMS2, en el modelo AMS3 se obtuvieron reducciones menores a 10% y en el modelo AMS2-1 entre los niveles 2 al 7 el modelo registró reducciones negativas, mientras que en los pisos superiores se obtuvieron reducciones menores al 10%, en el último nivel se registraron reducciones de 15%.

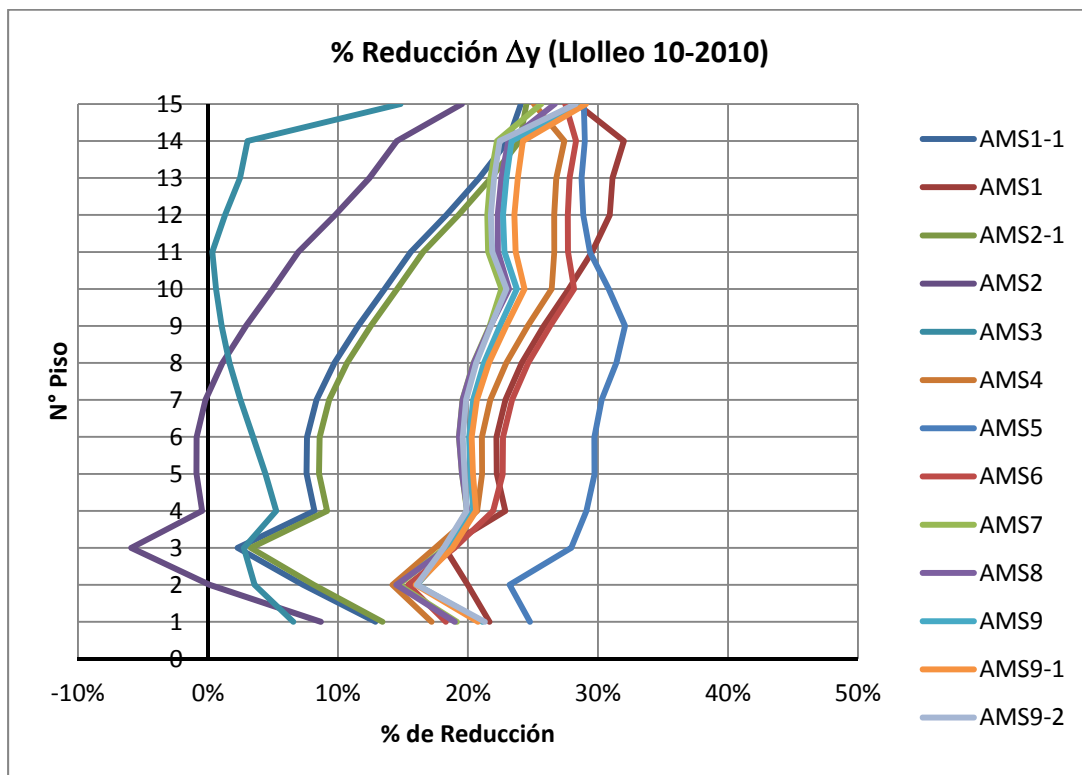


Figura IV-6: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección Y de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 10-2010.
[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-7, se muestran los porcentajes de reducción de las rotaciones del CM obtenidas del análisis sísmico Llolleo 10-2010, en este caso la distribución de las reducciones en la altura del edificio no mantiene la misma forma entre los modelos. El modelo en donde se obtienen las mayores reducciones para esta respuesta fue el AMS9-1, en este modelo se alcanzaron reducciones entre 25% a 32%, mientras que el modelo en donde se obtuvieron las menores reducciones fueron el AMS3 y el AMS2, en estos modelos se obtuvieron reducciones menores al 10%.

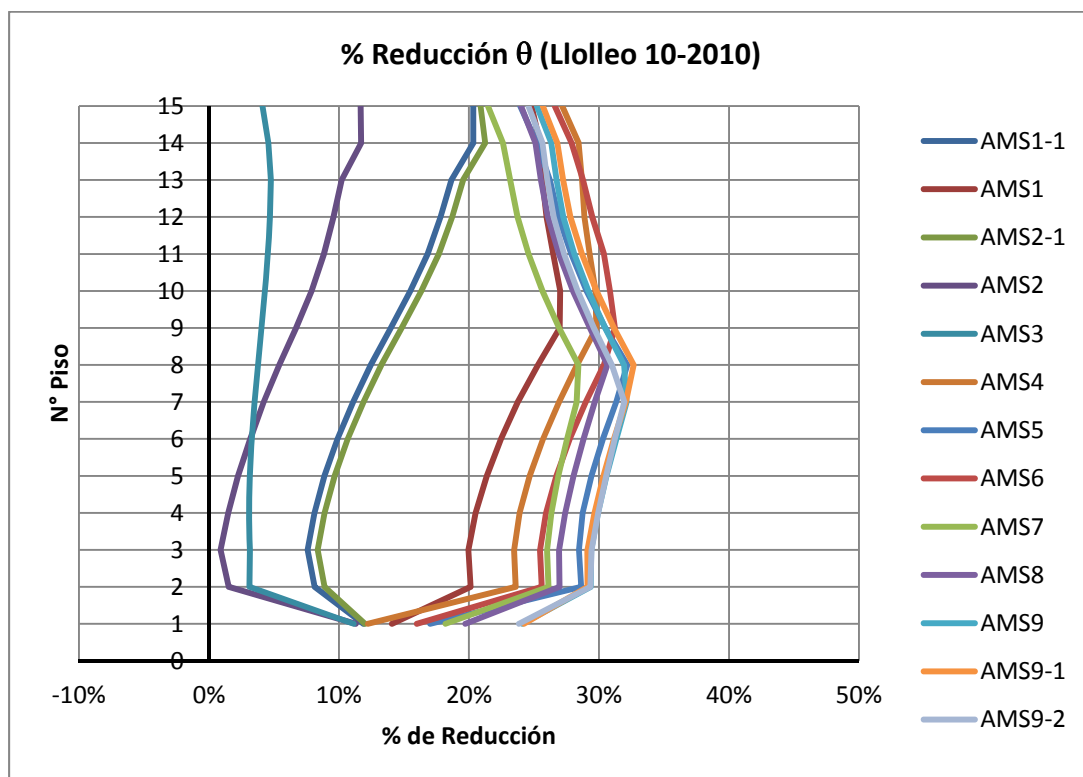


Figura IV-7: Porcentaje de Reducción de las Rotaciones de los CM de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 10-2010.

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-8 se puede apreciar los porcentajes de las reducciones de los desplazamientos del CM de los niveles del edificios medidos en la dirección X obtenidos del análisis sísmico Llolleo 100-1985, en este caso la forma en la que se distribuyen las reducciones en la altura de esta respuesta en los distintos modelos son parecidas o mantiene la misma forma, el modelo en donde se produjo la mayor reducción en el modelo AMS2, en los primeros 3 niveles se obtuvieron reducciones entre 10% a 20%, entre el 4to al 8vo nivel se obtuvieron reducciones entre 20% al 30% y en los últimos niveles se obtuvieron reducciones entre 30 a 40%, el modelo AMS3 fue en donde se obtuvieron las menores reducciones de esta respuesta alcanzando valores entre 7% a 12% en los primeros 7 niveles y valores menores 7% en los pisos superiores, desde el nivel 12 al 15 se obtuvieron reducciones negativas.

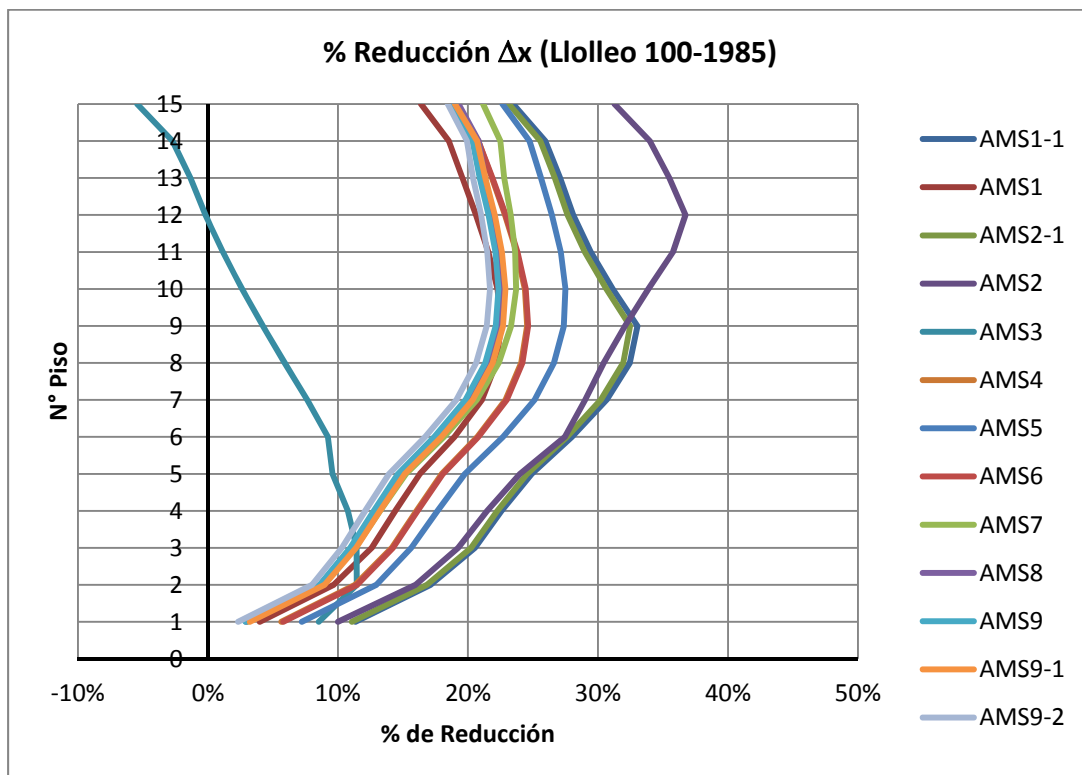


Figura IV-8: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección X de los Modelos con AMS, Análisis Lollole 100-1985.
[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-9 se muestran los porcentajes de reducción de respuesta del desplazamiento del CM medido en la dirección Y obtenida del análisis sísmico Lollole 100-1985, en este caso la forma en la que se distribuye las reducciones de la respuesta en la altura del edificio adoptan la misma forma para todos los modelos estudiados. La diferencia en la magnitud de las reducciones varía bastante poco entre un modelo y otro (variación menor al 10%). El modelo en donde se registran los mayores valores de reducción es el modelo AMS1-1 y AMS2-1 estos modelos se generaron reducciones del orden de 20% a 30% en los niveles inferiores del edificio y de un 30% a un 40% en los niveles superiores, el modelo en donde se obtuvieron las menores reducciones fue en el modelo AMS3, en este modelo se registraron reducciones negativas en los pisos del 2do al 10mo nivel y reducciones menores al 10% en los niveles del 11 al 14avo, en el último nivel se obtuvieron reducciones de 22%.

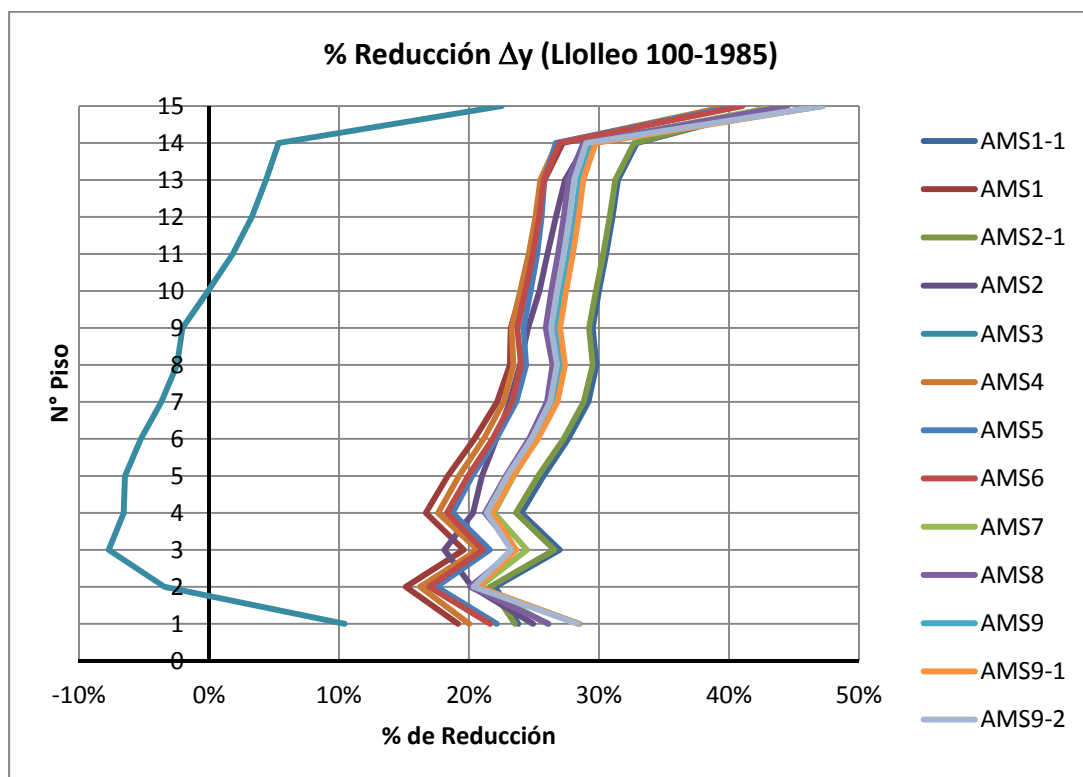


Figura IV-9: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección Y de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 100-1985.
[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-10 se aprecian los porcentajes de reducción de la respuesta torsión medida en el CM del edificio debido al análisis sísmico Llolleo 100-1985, para esta respuesta la forma en la que se distribuyen sus reducciones en la altura se mantiene de modelo a modelo, solo varía la magnitud de esta, el modelo en donde se alcanzan los mayores porcentajes de reducción son los modelos AMS1-1 y AMS2-1 en donde se obtienen reducciones entre 25% a 30%, el modelo en donde se obtuvieron las menores reducciones fue en el AMS3, en este modelo se obtuvieron reducciones negativas en los primeros 7 niveles y reducciones menores al 10% en los niveles superiores.

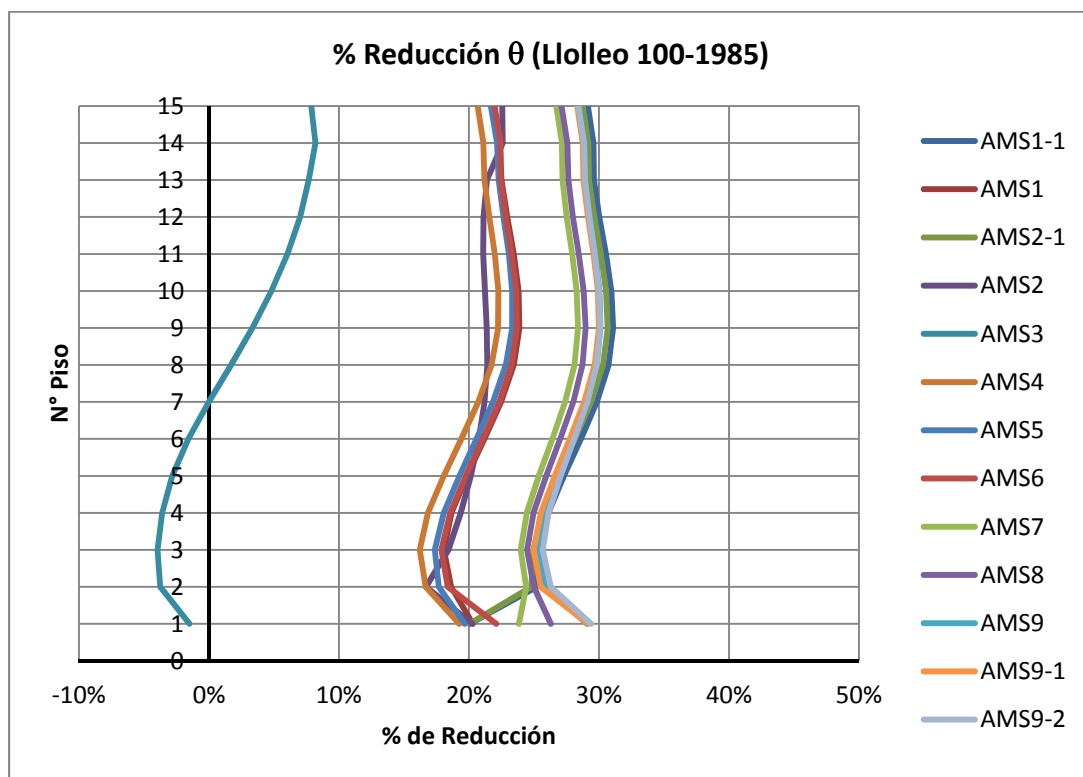


Figura IV-10: Porcentaje de Reducción de las Rotaciones de los CM de los Modelo con AMS, Análisis Lollole 100-1985.

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-11, se muestran los porcentajes de reducción de los desplazamientos del CM medido en la dirección X obtenidos del análisis sísmico Lollole 10-1985, para la mayoría de los modelos la forma en la que se distribuye en la altura la reducción de esta respuesta se mantiene de modelo a modelo, vale decir la forma no cambia, las reducciones se encuentran entre 20% a 30%, el modelo en donde se obtuvieron los mayores porcentajes de reducción de respuesta fueron AMS1-1 y AMS2-1, entre los niveles del 1 al 8 se alcanzaron reducciones entre 25% a 40%, en los último niveles se obtuvieron reducciones superiores a 40%, el modelo en donde se registraron los menores niveles de reducción de esta respuesta fue en el modelo AMS3 en donde se obtuvieron reducciones menores al 10%.

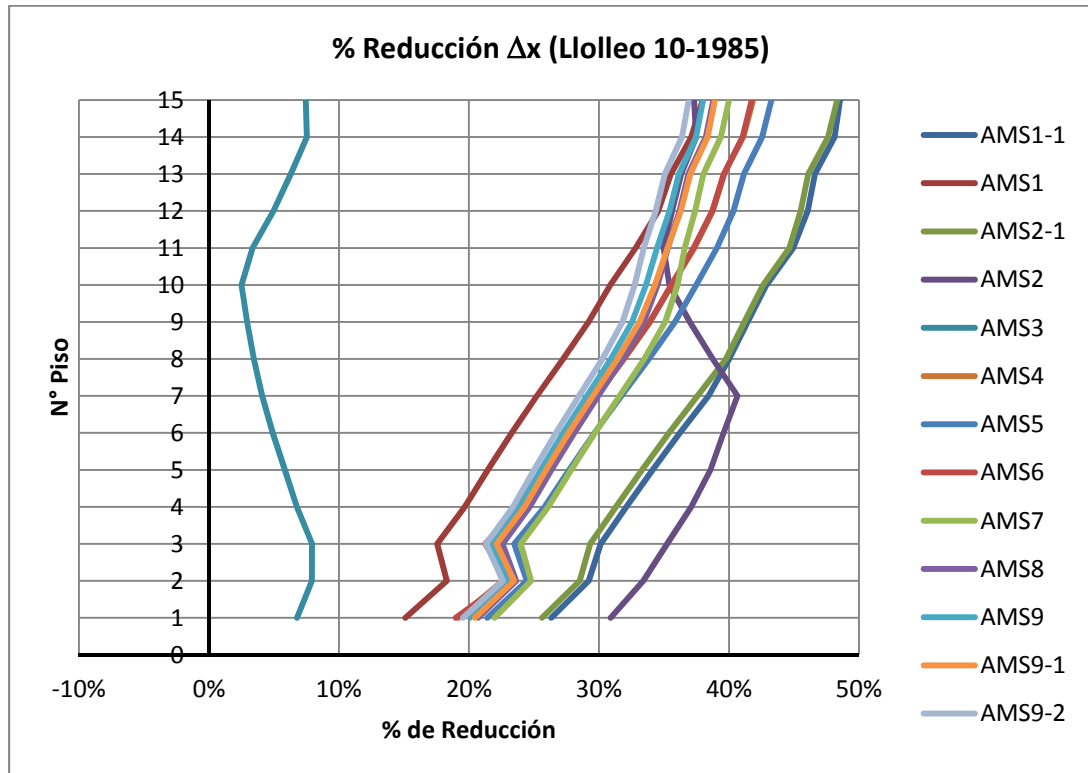


Figura IV-11: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección X de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 10-1985.
[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-12 se aprecian los porcentajes de reducción de los desplazamientos del CM medidos en la dirección producidas por el análisis sísmico de Llolleo 10-1985, para esta respuesta los modelos en donde se obtuvieron los mayores porcentajes de reducción de respuesta fue el AMS5 y el AMS9-1 en estos modelos se obtuvieron reducciones entre 30% a 40% en la mayoría de los niveles, el modelo en donde se registraron los menores porcentajes de reducción de respuesta fue en el AMS3, en los primeros 6 niveles el modelo alcanzó reducciones del orden de 10% en los últimos niveles se alcanzaron reducciones menores a 10%, en el último nivel se obtuvo una reducción de 19%.

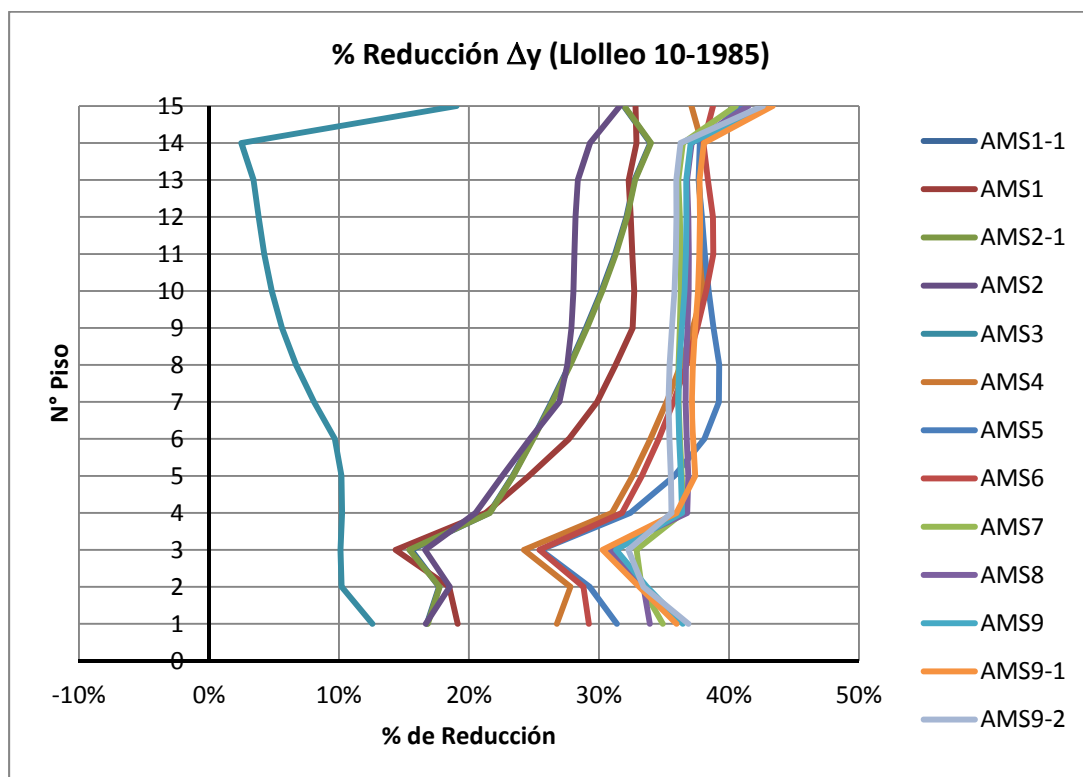


Figura IV-12: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección Y de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 10-1985.
[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-13, se muestran los porcentajes de reducción de las rotaciones del CM producidos en el análisis sísmico Llolleo 10-1985, para la mayoría de los modelos la forma en la que se distribuye en la altura la reducción de esta respuesta se mantiene de modelo a modelo, el modelo en donde se obtuvieron los mayores porcentajes de reducción de respuesta fueron en el modelo AMS9-2, en este se alcanzaron reducciones entre 20% a 30%, el modelo en donde se registraron los menores niveles de reducción de esta respuesta fue en el modelo AMS2-1 en donde se obtuvieron reducciones menores al 7%, en los últimos niveles este modelo registró reducciones negativas.

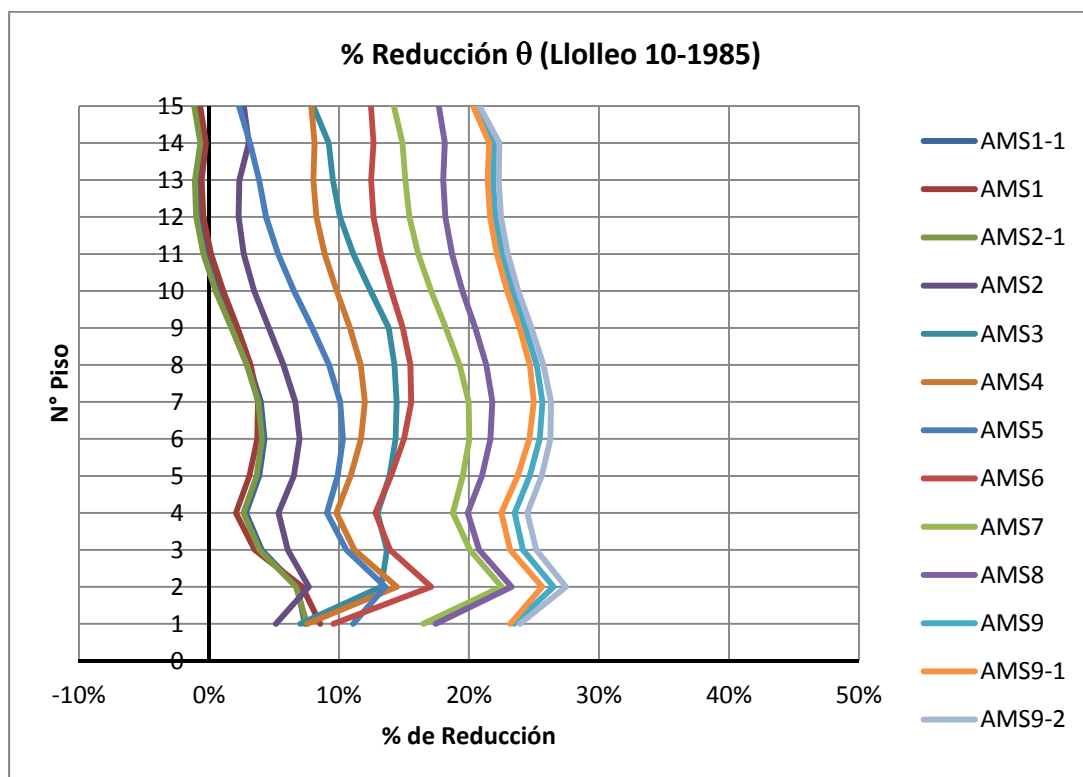


Figura IV-13: Porcentaje de Reducción de las Rotaciones de los CM de los Modelo con AMS, Análisis Llolleo 10-1985.

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-14, se puede apreciar los porcentajes de reducción de los desplazamientos del CM medidos en la dirección X obtenidas del análisis sísmico de Viña 290-1985, para la mayoría de los modelos la forma en la que se distribuye en la altura la reducción de esta respuesta se mantiene de modelo a modelo, vale decir la forma no cambia, las reducciones se encuentran entre 10% a 20%, el modelo en donde se obtuvieron los mayores porcentajes de reducción de respuesta fue AMS2, el modelo en donde se registraron los menores niveles de reducción de esta respuesta fue en el modelo AMS3, en los primeros 10 niveles del edificio se obtuvieron porcentajes de reducción negativas y en los últimos niveles se obtuvieron reducciones positivas pero menores al 1%.

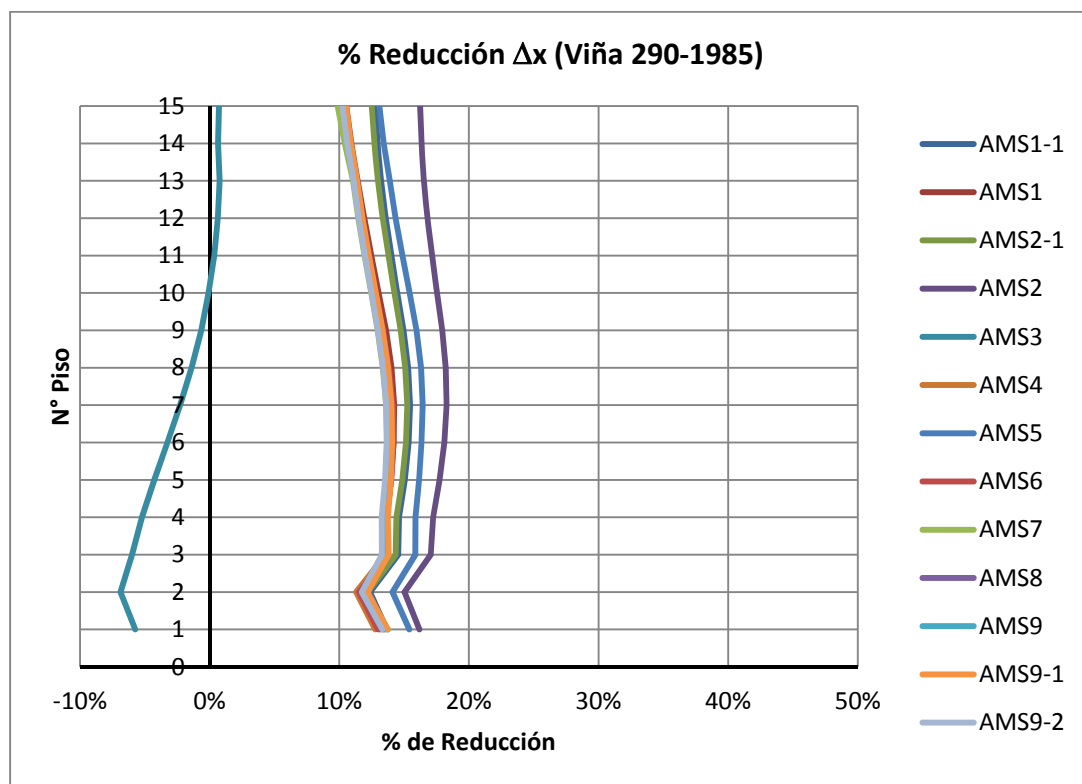


Figura IV-14: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección X de los Modelo con AMS, Análisis Viña 290-1985.
[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-15, se puede apreciar los porcentajes de reducción de los desplazamientos del CM medidos en la dirección Y obtenidas del análisis sísmico de Viña 290-1985, para la mayoría de los modelos la forma en la que se distribuye la reducción de esta respuesta en la altura se mantiene de modelo a modelo, las reducciones se encuentran entre 20% a 35%, el modelo en donde se obtuvieron los mayores porcentajes de reducción de respuesta AMS9-2, este modelo alcanzó reducciones entre los 27% a 35%, el modelo en donde se registraron los menores niveles de reducción de esta respuesta fue en el modelo AMS3, en los primeros 4 niveles del edificio se obtuvieron porcentajes de reducción entre 10% a 15% y en los últimos niveles (5to al 14avo) se obtuvieron reducciones menores al 10% y en el último nivel se registraron reducciones de 30%.

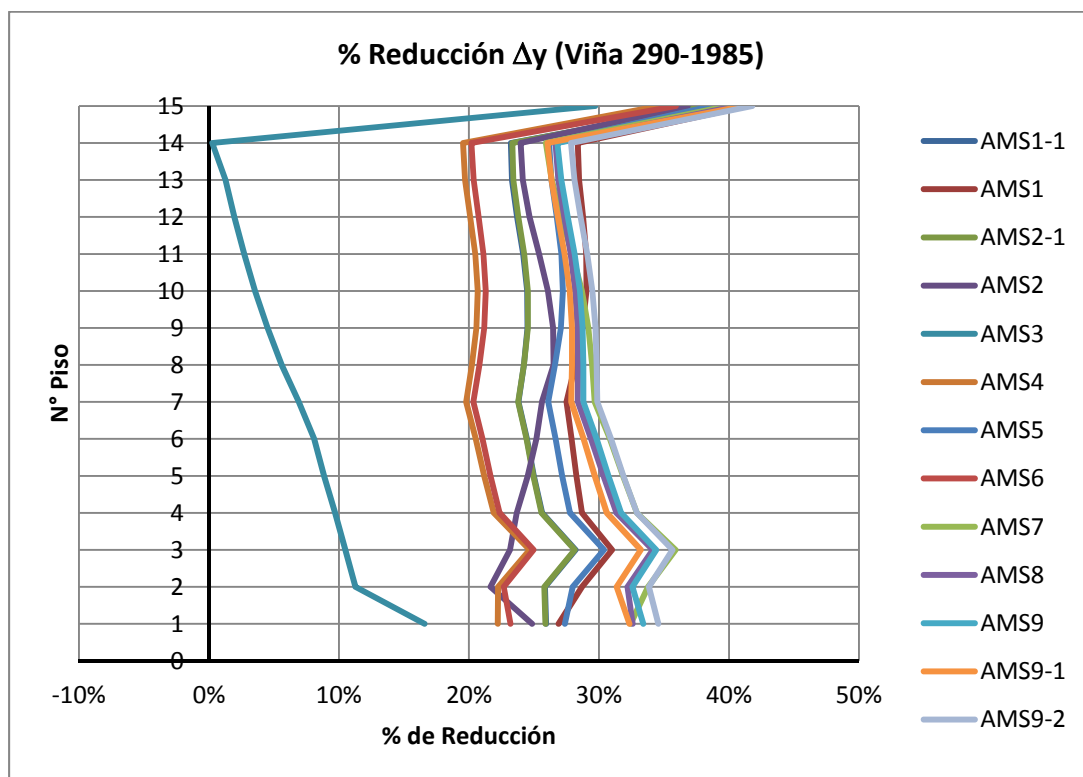


Figura IV-15: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección Y de los Modelo con AMS, Análisis Viña 290-1985.
[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-16 se puede apreciar los porcentajes de reducción de las rotaciones de los CM obtenidos en el análisis sísmico Viña 290-1985, en esta al igual que la figura anterior la forma en la que se distribuye en la altura las reducciones de esta respuesta se mantiene de modelo en modelo, los modelos en donde se obtuvieron los mayores reducciones de esta respuesta fueron el AMS6 y el AMS1, en la mayoría de los niveles se alcanzaron reducciones entre 20 a 25%, en el modelo en donde se obtuvieron las menores reducciones fue en el modelo AMS3, este modelo registró reducciones inferiores a 10%.

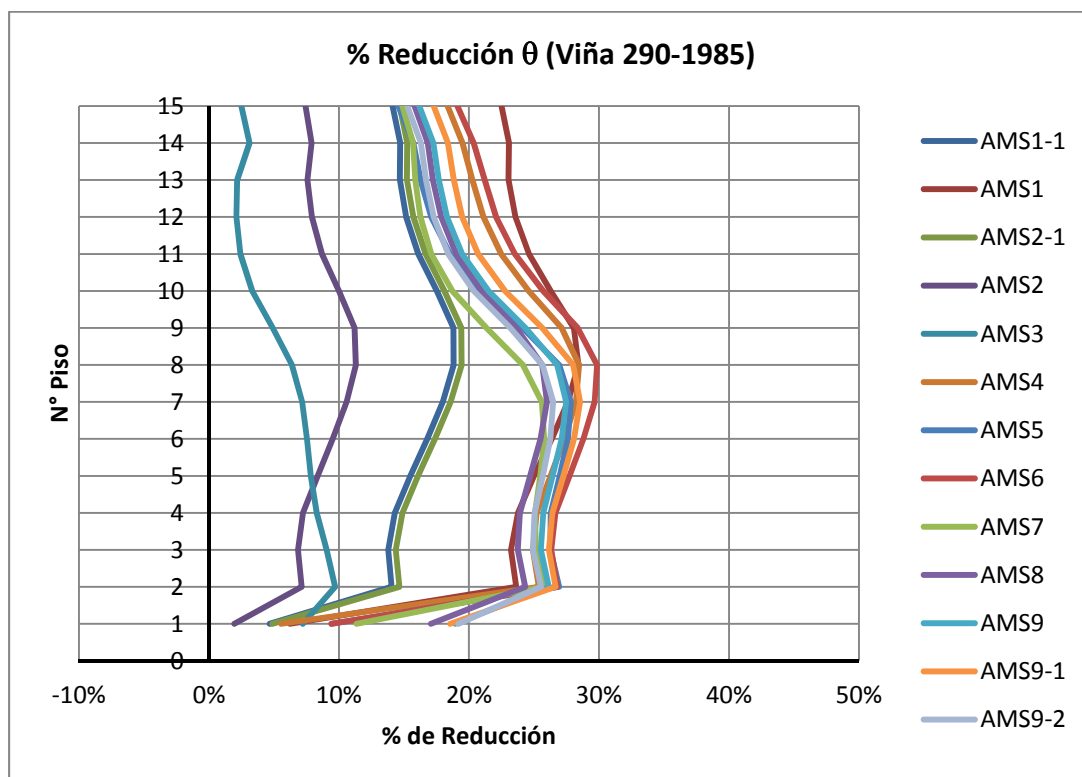


Figura IV-16: Porcentaje de Reducción de las Rotaciones de los CM de los Modelo con AMS, Análisis Viña 290-1985.

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-17 se muestra los porcentajes de las reducciones de la respuesta desplazamiento del CM medida en la dirección X debido al análisis sísmico Viña 200-1985, para esta respuesta la forma en la que se distribuyen sus reducciones en la altura se mantiene de modelo a modelo, solo varía la magnitud de esta, el modelo en donde se alcanzan los mayores porcentajes de reducción son los modelos AMS2 y AMS5 en donde en los primeros 8 niveles se obtuvieron reducciones entre 15% a 25% y en los niveles superiores reducciones entre 5% y 15%, el modelo en donde se obtuvieron las menores reducciones fue en el AMS6, en los primeros 9 niveles se obtuvieron reducciones menores al 15% y en los niveles superiores se obtuvieron reducciones negativas.

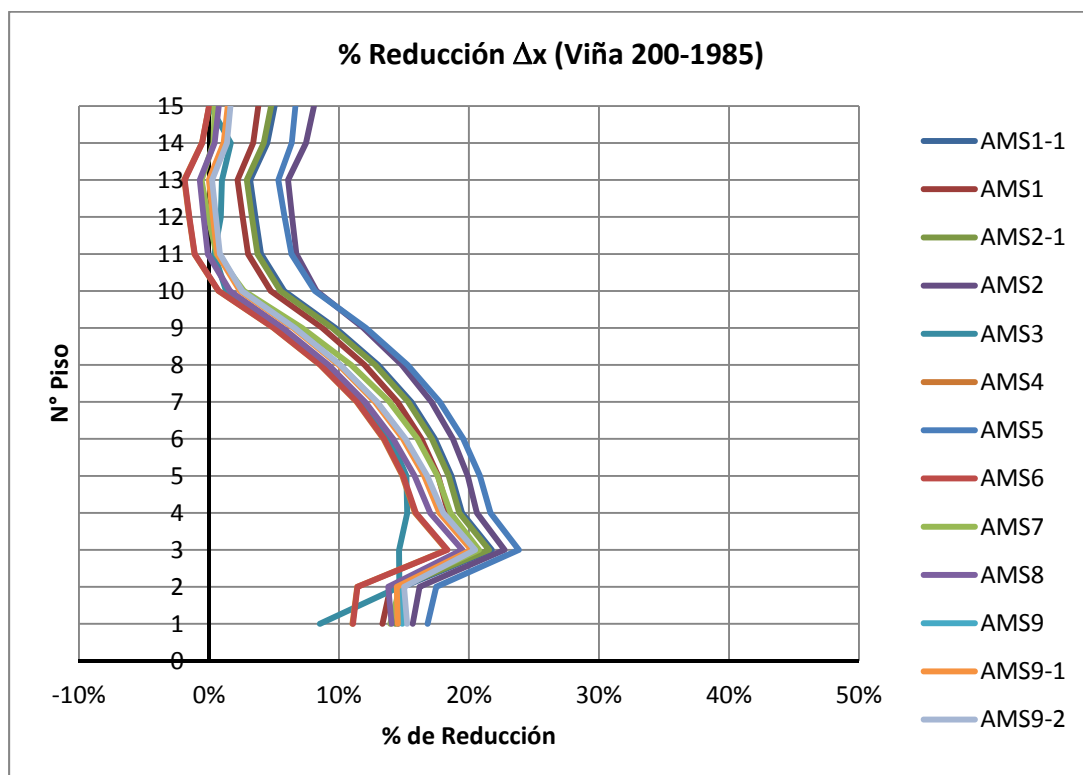


Figura IV-17: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección X de los Modelo con AMS, Análisis Viña 200-1985.
[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-18 se muestra los porcentajes de reducción de la respuesta del desplazamiento del CM medida en la dirección Y producto del análisis sísmico Viña 200-1985, al igual que el caso anterior la forma en la que se distribuye la reducción de la respuesta en la altura es muy parecida de modelo en modelo, los modelos que generan las mayores reducciones de esta respuesta son AMS1-1 y el AMS9-2, en los primeros niveles se obtienen reducciones entre 20% a 30% y en el último nivel 45%, el modelo en donde se obtuvo la menor reducción fue en el AMS3 en donde en los niveles 2 al 14 se obtienen reducciones casi nulas, en el 1er nivel una reducción igual a 15% y el último nivel se obtuvo una reducción de 35%.

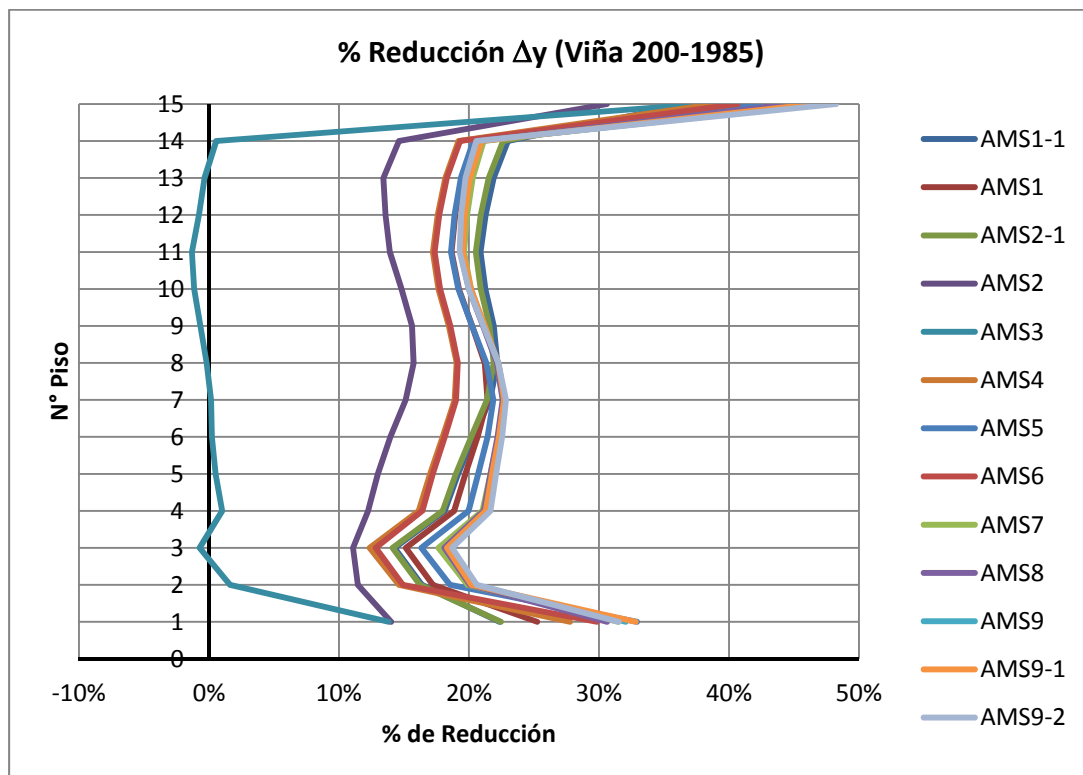


Figura IV-18: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos de los CM Medidos en la Dirección Y de los Modelo con AMS, Análisis Viña 200-1985.
[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-19 se muestra los porcentajes de reducción de la rotación de los centros de masa del edificio obtenidos del análisis sísmico Viña 200-1985, la forma en la que se distribuyen las reducciones de esta respuesta en la altura se mantiene de modelo en modelo, vale decir la forma se mantiene, el modelo en donde se obtienen las mayores reducciones AMS9-2, en este modelo se obtuvieron reducciones de 22% en el primer nivel, en el segundo nivel reducciones de 7% y desde el 3er al último nivel se obtuvieron reducciones entre 10% a un 20%, el modelo en donde se obtuvieron las menores reducciones es el AMS3, en la mayoría de los niveles se obtuvieron reducciones menores al 10%, en el caso de los niveles 2do y 3ero se obtuvieron reducciones negativas.

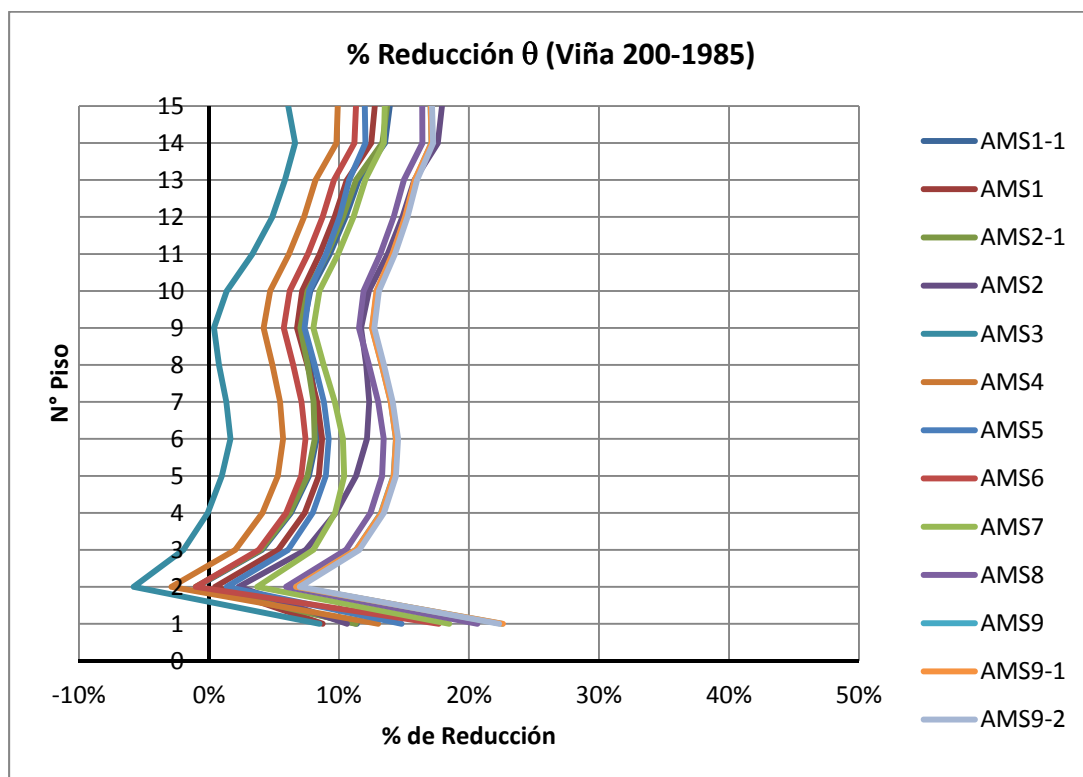


Figura IV-19: Porcentaje de Reducción de las Rotaciones de los CM de los Modelo con AMS, Análisis Viña 200-1985.

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-28, se muestra el promedio de los porcentajes de reducción de las respuestas desplazamientos del CM medidos en las direcciones X e Y (Δx , Δy respectivamente) y rotación del CM (θ) para cada modelo y en cada análisis sísmico, para ello se promediaron los porcentajes de reducción de todos los niveles del edificio para cada modelo y para cada análisis sísmico, además en la tabla se identificaron para cada respuesta los porcentajes de reducción mayor (celda color amarillo) y menor (celda color rojo). En esta tabla podemos apreciar que las mayores reducciones promedio de cada respuesta no se obtuvieron siempre en el mismo modelo para cada uno de los análisis sísmicos realizados, esto nos indica que los niveles de reducción de respuesta máximas a parte de la nivel de sintonía que se logre con el modelo de AMS también depende de la excitación. Por otro lado también se puede apreciar que el nivel de reducción, varía de una respuesta a otra dentro de un mismo modelos y de un mismo análisis sísmico. De esta tabla se puede apreciar además que el modelo de AMS que genera las menores reducciones

es el AMS3 y se podría inferir que los modelos en donde se obtuvieron mayores reducciones fueron en los modelos AMS5 y los modelos AMS9, AMS9-1 y AMS9-2.

Tabla IV-28: Reducciones de las Respuestas de Desplazamiento de los CM Promedio por Análisis y Modelo.

		Modelo de AMS												
		1-1	1	2-1	2	3	4	5	6	7	8	9	9-1	9-2
Llolleo100-2010	% Δx	28%	37%	30%	17%	2%	31%	34%	31%	28%	28%	28%	29%	28%
	% Δy	17%	26%	17%	10%	10%	29%	31%	30%	29%	29%	30%	30%	29%
	% θ	21%	27%	22%	12%	7%	23%	20%	23%	22%	23%	23%	24%	23%
Llolleo10-2010	% Δx	41%	40%	41%	39%	7%	38%	40%	38%	39%	39%	39%	40%	38%
	% Δy	13%	25%	14%	5%	4%	23%	29%	24%	21%	21%	22%	22%	21%
	% θ	13%	23%	14%	6%	4%	26%	28%	27%	25%	27%	29%	29%	28%
Llolleo100-1985	% Δx	26%	17%	25%	28%	5%	19%	22%	19%	18%	17%	17%	18%	16%
	% Δy	29%	23%	29%	25%	1%	23%	24%	24%	27%	27%	27%	28%	27%
	% θ	28%	22%	28%	21%	2%	20%	21%	22%	26%	27%	28%	28%	28%
Llolleo10-1985	% Δx	39%	27%	38%	37%	6%	31%	33%	31%	32%	31%	30%	31%	29%
	% Δy	26%	28%	26%	25%	8%	34%	36%	35%	36%	36%	36%	37%	36%
	% θ	2%	2%	2%	5%	12%	10%	8%	14%	18%	20%	24%	23%	24%
Viña290-1985	% Δx	14%	13%	14%	17%	-2%	13%	15%	13%	12%	13%	13%	13%	12%
	% Δy	26%	29%	26%	26%	8%	22%	28%	23%	31%	30%	31%	30%	32%
	% θ	15%	24%	16%	8%	6%	23%	22%	24%	21%	21%	23%	24%	22%
Viña200-1985	% Δx	11%	10%	11%	13%	8%	7%	14%	7%	9%	8%	9%	9%	9%
	% Δy	21%	21%	21%	15%	3%	19%	22%	20%	23%	23%	23%	23%	23%
	% θ	8%	8%	8%	12%	2%	6%	9%	8%	10%	13%	14%	14%	14%

[Fuente: Elaboración Propia]

Al igual que en el caso de la fuerzas cortantes a nivel basal del edificio quedarse con los valores máximos de cada análisis puede ser poco representativo para efectos de diseño, de acuerdo a esto se obtuvo el porcentaje promedio de la reducción de los desplazamientos del CM de cada nivel del edificio, para ello se calcularon para cada modelo los desplazamientos promedio de cada desplazamiento del CM promediando las respuestas de los seis análisis realizados. Esto es:

$$\% \Delta x_{prom} = \frac{\Delta x_{sin AMS prom} - \Delta x_{con AMS prom}}{\Delta x_{sin AMS prom}} * 100$$

$$\% \Delta y_{prom} = \frac{\Delta y_{sin AMS prom} - \Delta y_{con AMS prom}}{\Delta y_{sin AMS prom}} * 100$$

$$\% \Delta y_{prom} = \frac{\Delta y_{sin AMS prom} - \Delta y_{con AMS prom}}{\Delta y_{sin AMS prom}} * 100$$

$$\% \theta_{prom} = \frac{\theta_{sin AMS prom} - \theta_{con AMS prom}}{\theta_{sin AMS prom}} * 100$$

Donde:

$\% \Delta x,y_{prom}$ = Porcentaje promedio de la reducción de los desplazamientos del CM medidos en la dirección X o Y según corresponda.-

$\Delta x,y_{sin AMS prom}$ = Desplazamiento promedio de los CM del edificio sin AMS medida en la dirección X o Y según corresponda, obtenida de promediar los seis desplazamientos de cada centro de masa obtenidos de los análisis sísmicos.-

$\Delta x,y_{con AMS prom}$ = Desplazamiento promedio de los CM del edificio con AMS medida en la dirección X o Y según corresponda, obtenida de promediar los seis desplazamientos de cada centro de masa obtenidos de los análisis sísmicos.-

$\% \theta_{prom}$ = Porcentaje promedio de la reducción de las rotaciones del CM.-

$\theta_{sin AMS prom}$ = Rotación promedio de los CM del edificio sin AMS, obtenida al promediar las seis rotaciones obtenidas de los análisis sísmicos.-

$\theta_{con AMS prom}$ = Rotación promedio de los CM del edificio con AMS, obtenida al promediar las seis rotaciones obtenidas de los análisis sísmicos.-

En la Tabla IV-29, se puede apreciar las reducciones de los desplazamientos promedio del CM medidos en la dirección X obtenidas de los seis análisis sísmicos realizados para cada modelo de AMS. En esta tabla podemos ver que el modelo que menor porcentaje de reducción de respuesta corresponde al modelo AMS3, el cual en promedio en todos sus pisos alcanzó para esta respuesta una reducción del orden del 4% con una desviación estándar de 2.3% considerando las reducciones de todos los niveles del edificio.-

En el caso de los modelos que alcanzaron los mayores porcentajes de reducción fueron el AMS2-1, modelo en donde se sintonizó la frecuencia de vibración en la dirección X de la estructura original con la frecuencia de Vibración en la dirección X del AMS, este modelo promedió un 28% de reducción considerando todos los niveles con un 1.9% de desviación estándar y el AMS5 obtuvo un 27% de reducción promedio con un 1.2% de desviación estándar.

Tabla IV-29: Reducciones de los Desplazamientos Promedios Medidos en la Dirección X del CM por Nivel y Modelo.

Nivel	AMS1-1	AMS1	AMS2-1	AMS2	AMS3	AMS4	AMS5	AMS6	AMS7	AMS8	AMS9	AMS9-1	AMS9-2
1	21%	21%	22%	21%	7%	20%	23%	20%	20%	20%	20%	21%	20%
2	23%	23%	24%	23%	8%	22%	25%	22%	22%	22%	22%	22%	22%
3	25%	25%	27%	26%	7%	24%	27%	24%	24%	24%	24%	24%	23%
4	25%	25%	28%	27%	7%	24%	27%	24%	25%	24%	24%	25%	24%
5	26%	26%	28%	28%	6%	24%	28%	24%	25%	25%	25%	25%	24%
6	26%	26%	29%	28%	6%	25%	28%	25%	26%	25%	25%	25%	24%
7	26%	26%	29%	28%	5%	25%	28%	25%	26%	25%	25%	26%	24%
8	26%	26%	29%	27%	3%	25%	28%	25%	26%	25%	25%	25%	24%
9	26%	26%	29%	27%	3%	25%	28%	25%	25%	25%	25%	25%	24%
10	25%	25%	28%	26%	2%	25%	27%	25%	24%	24%	24%	24%	23%
11	25%	25%	28%	26%	2%	25%	27%	25%	24%	24%	23%	24%	23%
12	25%	25%	28%	26%	2%	25%	27%	25%	24%	23%	23%	24%	22%
13	25%	25%	28%	26%	2%	25%	27%	25%	24%	23%	23%	24%	22%
14	25%	25%	28%	26%	2%	25%	27%	25%	24%	23%	23%	24%	22%
15	25%	25%	28%	26%	2%	25%	27%	25%	23%	23%	22%	23%	22%
Prom.	25%	25%	28%	26%	4%	24%	27%	24%	24%	24%	24%	24%	23%
Desv	1.3%	1.3%	1.9%	1.7%	2.3%	1.4%	1.2%	1.4%	1.4%	1.3%	1.3%	1.3%	1.2%

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-30 se muestran los porcentajes de reducción promedio de los desplazamientos medidos en la dirección Y de cada nivel alcanzada por cada modelo, así como también los promedios de las reducciones promedio, con el fin de tener un solo valor por modelo y su correspondiente desviación estándar. El modelo en donde se obtuvieron las menores reducciones fue en el AMS3 este promedió un 6% de reducción y una desviación estándar de 5.6%, los modelos en donde se obtuvieron las mayores reducciones

en estas respuestas fueron el AMS5, AMS7, AMS8, AMS9, AMS9-1 y AMS9-2 , esto modelos tuvieron una reducción promedio de 28% con las siguientes desviaciones estándar 2.5%, 2.9%, 3.0%, 3.4%, 3.4%, 3.5% según corresponde.

Tabla IV-30: Reducciones de los Desplazamientos Promedios Medidos en la Dirección Y del CM por Nivel y Modelo.

Nivel	AMS1-1	AMS1	AMS2-1	AMS2	AMS3	AMS4	AMS5	AMS6	AMS7	AMS8	AMS9	AMS9-1	AMS9-2
1	22%	22%	19%	17%	13%	22%	27%	24%	29%	28%	30%	30%	30%
2	22%	22%	19%	16%	8%	22%	26%	22%	26%	26%	26%	26%	26%
3	22%	22%	19%	14%	7%	23%	26%	23%	27%	27%	27%	26%	27%
4	23%	23%	20%	16%	7%	24%	27%	24%	28%	28%	27%	27%	27%
5	23%	23%	20%	16%	6%	24%	28%	25%	28%	27%	27%	28%	27%
6	24%	24%	21%	17%	5%	24%	29%	25%	28%	27%	27%	27%	27%
7	25%	25%	21%	17%	4%	25%	29%	25%	28%	27%	27%	28%	27%
8	25%	25%	22%	18%	3%	26%	29%	26%	28%	27%	28%	28%	27%
9	26%	26%	23%	18%	2%	26%	29%	26%	27%	27%	28%	28%	27%
10	26%	26%	23%	18%	2%	26%	28%	27%	27%	27%	27%	28%	27%
11	26%	26%	23%	18%	1%	26%	28%	26%	26%	27%	27%	27%	27%
12	27%	27%	24%	18%	1%	26%	27%	26%	26%	26%	27%	27%	26%
13	27%	27%	24%	18%	1%	25%	27%	26%	26%	26%	27%	27%	26%
14	27%	27%	25%	19%	1%	26%	28%	26%	26%	27%	27%	27%	27%
15	36%	36%	34%	30%	23%	34%	37%	36%	38%	39%	41%	41%	41%
Prom	26%	26%	22%	18%	6%	25%	28%	26%	28%	28%	28%	28%	28%
Desv.	3.4%	3.4%	3.5%	3.5%	5.6%	2.8%	2.5%	2.9%	2.9%	3.0%	3.4%	3.4%	3.5%

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-31, se muestran los porcentajes de las reducciones promedio de las rotaciones de los centro de masa del edificio, para esta respuesta los modelos en donde se obtuvieron los menores porcentajes de reducción fueron en el modelo AMS3, dicho modelo alcanzó una reducción de las rotaciones promedio de un 6% con una desviación estándar de un 1%, para esta respuesta el modelo en donde se obtuvieron las mayores reducciones se obtuvieron en los modelos AMS9, AMS9-1 y AMS9-2, en estos modelos se obtuvieron reducciones de 24% con desviaciones estándar de 1.2% y 1.3%. En esta tabla se puede apreciar un aumento en la reducción de la respuesta entre los modelos AMS7,

AMS8 y AMS9, esto se debe al aumento de rigidez torsional en el AMS dado cuando se disponen los aisladores elastoméricos lo más alejados del CM modelo AMS9.

Tabla IV-31: Reducciones de los Rotaciones Promedios del CM por Nivel y Modelo.

Nivel	AMS1-1	AMS1	AMS2-1	AMS2	AMS3	AMS4	AMS5	AMS6	AMS7	AMS8	AMS9	AMS9-1	AMS9-2
1	12%	12%	11%	10%	8%	11%	14%	15%	18%	20%	24%	23%	24%
2	16%	16%	14%	10%	6%	17%	19%	19%	22%	22%	24%	24%	24%
3	17%	17%	15%	12%	6%	18%	20%	20%	22%	23%	24%	24%	24%
4	18%	18%	15%	12%	6%	19%	20%	20%	22%	23%	24%	24%	25%
5	18%	18%	16%	12%	6%	19%	20%	21%	22%	23%	25%	25%	25%
6	19%	19%	17%	12%	6%	20%	21%	21%	23%	24%	25%	26%	25%
7	19%	19%	17%	12%	6%	20%	21%	22%	23%	24%	26%	26%	26%
8	19%	19%	17%	12%	5%	20%	20%	22%	22%	24%	25%	26%	25%
9	19%	19%	16%	11%	5%	20%	19%	21%	21%	23%	24%	25%	24%
10	19%	19%	16%	10%	4%	19%	18%	20%	20%	22%	23%	24%	23%
11	18%	18%	15%	10%	4%	18%	17%	19%	19%	21%	22%	23%	22%
12	18%	18%	15%	10%	4%	18%	16%	19%	19%	21%	22%	22%	22%
13	18%	18%	16%	11%	5%	18%	16%	19%	19%	21%	22%	22%	22%
14	18%	18%	17%	12%	6%	18%	16%	19%	19%	21%	22%	23%	22%
15	18%	18%	17%	13%	5%	17%	16%	19%	19%	21%	22%	22%	22%
Prom.	18%	18%	16%	11%	6%	18%	18%	20%	21%	22%	24%	24%	24%
Desv.	1.7%	1.7%	1.5%	0.9%	1.0%	2.0%	2.1%	1.7%	1.6%	1.3%	1.3%	1.2%	1.3%

[Fuente: Elaboración Propia]

Tal como ocurrió en el caso de los porcentajes de reducción de las respuestas fuerza de corte basal medidas en las direcciones X e Y, no hay un solo modelo que genere las mayores reducciones en ambas respuestas en forma simultánea. Se puede notar además que para las respuestas medidas en la dirección X (fuerza de corte basal medida en la dirección X, Q_x y el desplazamiento del centro de masa medido en la dirección X, Δ_x), el modelo en donde se obtuvieron los mayores porcentajes de reducción fue el modelo AMS5, alcanzado reducciones de 23% y 27% para cada respuesta. Para las respuestas medidas en la dirección Y (fuerza de corte basal medida en la dirección Y, Q_y y el desplazamiento del centro de masa medido en la dirección Y, Δ_y), el modelo en donde se obtuvieron los mayores porcentajes de reducción para estas respuestas fueron los modelos AMS9,

AMS9-1 y AMS9-2 alcanzado reducciones de 29% y 28% para cada respuesta. Para decidir qué modelo se utilizará, se buscará el promedio de las reducciones con el fin de decir cuál de los dos modelos desarrollará mayor porcentaje de reducción.

En la Tabla IV-32, se muestra el resumen de los porcentajes de reducción de las respuestas promedio y el promedio simple de las reducciones esto con el fin de definir el modelo de AMS que produce las mayores reducciones en la mayoría de las respuestas, de acuerdo a esto el modelo que genera los mayores porcentajes de reducción en la mayoría de las respuestas estudiadas son los modelo AMS9, AMS9-1 y AMS9-2, promedian un 25% de reducción, valor que se encuentra dentro de los porcentajes de reducción indicados en la Tabla II-1 correspondientes a proyectos desarrollados en Chile por la empresa SIRVE. Por otro lado el AMS que produjo el menor porcentaje de reducción en la respuesta es el AMS3.

Tabla IV-32: Resumen de los Porcentajes de Reducción de Respuestas Promedio por Modelo.

	AMS1-1	AMS1	AMS2-1	AMS2	AMS3	AMS4	AMS5	AMS6	AMS7	AMS8	AMS9	AMS9-1	AMS9-2
% $Q_{x_{prom}}$	21%	21%	21%	20%	8%	20%	23%	20%	19%	20%	20%	20%	19%
% $Q_{y_{prom}}$	18%	20%	19%	16%	13%	21%	25%	23%	28%	27%	29%	29%	29%
% Δx_{prom}	25%	25%	28%	26%	4%	24%	27%	24%	24%	24%	24%	24%	23%
% Δy_{prom}	26%	26%	22%	18%	6%	25%	28%	26%	28%	28%	28%	28%	28%
% θ_{prom}	18%	18%	16%	11%	6%	18%	18%	20%	21%	22%	24%	24%	24%
Prom.	22%	22%	21%	18%	7%	22%	24%	22%	24%	24%	25%	25%	25%
Desv.	3%	3%	4%	5%	3%	3%	4%	2%	3%	3%	3%	3%	4%

[Fuente: Elaboración Propia]

De la tabla anterior también se puede notar que los otros modelos de AMS alcanzaron porcentajes de reducción bastante parecidos (AMS1-1, AMS1, AMS4, AMS5, AMS6, AMS7, AMS8, AMS9, AMS9-1 y AMS9), los porcentajes de reducción está entre el 22% al 25%, la característica común de estos AMS es que todos fueron sintonizados con la frecuencia natural de vibración de la estructura original que mueve más masa en la dirección Y, en caso de los AMS que fueron sintonizados con la frecuencia natural de vibración que mueve mayor cantidad de masa en la dirección X, estos alcanzaron valores

mayores en las respuestas medidas en la dirección X. Como en este caso la estructura original posee un bajo nivel de acoplamiento entre la dirección X y torsional los AMS sintonizados con la frecuencia natural de vibración que mueve más masa en la dirección X producen una baja reducción en las respuestas medidas en la dirección Y y torsional.

Cómo el edificio posee frecuencias naturales de vibración parecidas la sintonía del AMS no afectó mayormente los niveles de reducción promedio de las respuestas, por otro lado la variación del porcentaje de reducción promedio de las respuestas no se vio mayormente afectado por el nivel de amortiguamiento del AMS, ya que los tres AMS9, AMS9-1 y AMS9-2 su única diferencia fue el nivel de amortiguamiento que poseían uno del otro.

Para obtener los valores de amortiguamiento adicional que incorporan los deslizadores friccionales al AMS, se obtuvieron para cada análisis sísmico las deformaciones del CM del AMS con respecto al edificio y la fuerza cortante que se desarrolla en la totalidad de los deslizadores (10 deslizadores friccionales ver Figura III-21), para cada análisis y modelo se obtuvieron los gráficos deformación v/s fuerza cortante del conjunto de deslizadores, a modo de ejemplo se muestra la Figura IV-20.

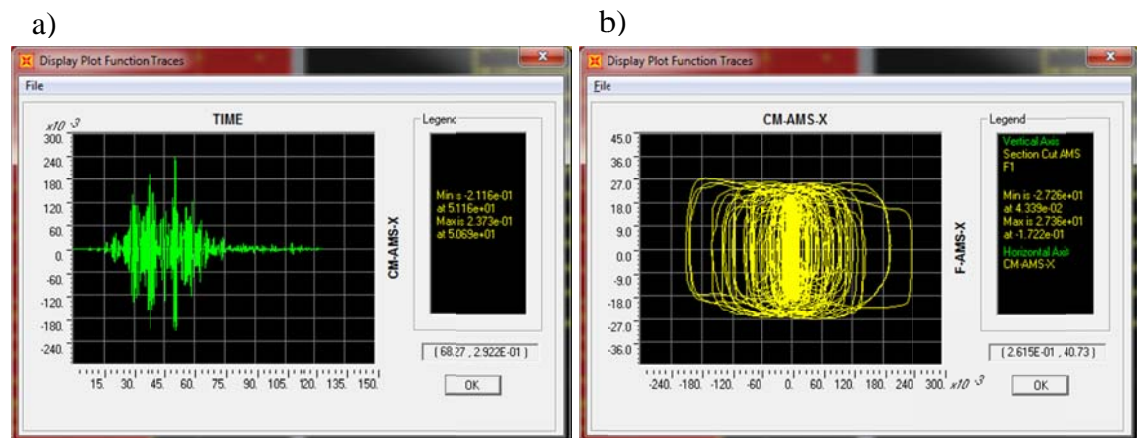


Figura IV-20: Deformación v/s Fuerza de corte medidas en la dirección X del conjunto de deslizadores debido al análisis sísmico de Llolleo 100-2010 (Modelo AMS9-1).

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-20 a), se muestra la historia del desplazamiento relativo del AMS medido con respecto al edificio, vale decir la historia de la deformación del AMS en relación a la estructura en el tiempo producido por el análisis sísmico Llolleo 100-2010 del modelo

AMS9-1, en la Figura IV-20 b), se aprecia el gráfico de Fuerza Cortante v/s deformación de los deslizadores friccionales,(unidades consideradas mts. – tonf)

El amortiguamiento adicional que entregan los deslizadores friccionales al sistema del AMS puede ser estimado a partir de la siguiente expresión:

$$\xi_{ef} \approx \frac{1}{4\pi} \frac{W_d}{W_p}$$

Donde:

ξ_{ef} = Razón de amortiguamiento crítico efectivo generado por los deslizadores friccionales.

W_d = Energía disipada en un ciclo histerético por los deslizadores friccionales (área de un ciclo histerético, ver Figura IV-21) .

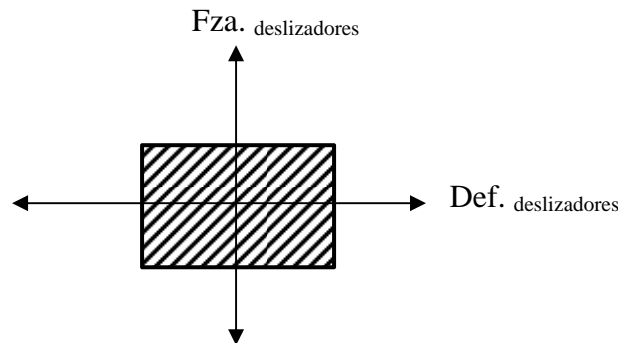


Figura IV-21: Deformación v/s Fuerza de corte del conjunto de deslizadores (Ciclo histerético del conjunto de deslizadores friccionales.

[Fuente: Elaboración Propia]

W_p = Energía potencial de deformación elástica obtenida en los aisladores (fuerzas conservativas), ver Figura IV-22.

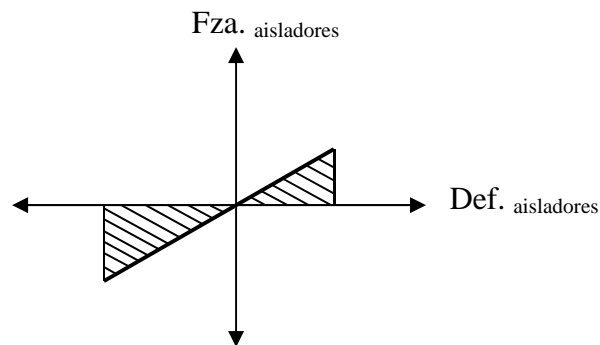


Figura IV-22: Deformación v/s Fuerza de corte del conjunto de aisladores.

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-33, se muestran las razones de amortiguamiento crítico obtenidas para los modelos que poseen deslizadores friccionales AMS9, AMS9-1 y AMS9-2

Tabla IV-33: Razón de Amortiguamiento Crítico de los Modelos con Deslizadores Friccionales.

	ξ		
	AMS9	AMS9-1	AMS9-2
Llolleo 100-2010	3.81%	3.03%	4.91%
Llolleo 10-2010	3.56%	2.88%	4.53%
Llolleo 100-1985	3.50%	2.67%	4.25%
Llolleo 10-1985	3.68%	2.82%	4.74%
Viña 290-1985	3.45%	2.73%	4.34%
Viña 200-1985	3.74%	2.78%	4.61%
Promedio	3.62%	2.82%	4.56%

[Fuente: Elaboración Propia]

Por tanto en los modelos AMS9, AMS9-1 y AMS9-2 el amortiguamiento final se obtiene al adicionar el amortiguamiento considerado en los aisladores elastomérico 8% el amortiguamiento indicado en la Tabla IV-33. Luego las razones de amortiguamiento críticos de cada modelo será: $\xi_{AMS9} = 11.62\%$; $\xi_{AMS9-1} = 10.82\%$; $\xi_{AMS9-2} = 12.56\%$.

IV.4 Diseño de los Aisladores Elastoméricos y Deslizadores Friccionales.

A continuación se desarrollará la memoria de cálculo correspondiente al diseño de los aisladores elastoméricos y los deslizadores friccionales. De acuerdo a los datos anteriores se diseñarán los aisladores del modelo AMS9, para ello se seguirán las indicaciones de la NCh2745Of 2003 y las expresiones propuestas por De la Llera *et al* (2004) para la estimación de las propiedades del elastómero (módulo de corte y razón de amortiguamiento crítico).

La rigidez horizontal que provee cada aislador es:

$$K_h = \frac{A * G}{H_r}$$

Donde:

K_h = Rigidez horizontal del aislador.

A = Área de apoyo del Aislador $\pi * r^2$

G = Módulo de corte del elastómero (goma).

H_r = Altura total de la goma.

r = Radio de la goma del aislador.

De acuerdo a lo indicado por De la Llera *et al* (2004), el módulo de corte de la goma, así como también la razón de amortiguamiento crítico depende de la deformación por corte del aislador γ , la cual se obtiene de la siguiente expresión:

$$\gamma = \frac{D_D}{H_r}$$

Donde:

γ = Es la deformación por corte del aislador.

D_D = Es el desplazamiento de diseño del conjunto de aisladores.

Las expresiones propuestas por De la Llera *et al* (2004) para el módulo de corte y razón de amortiguamiento para la goma con media rigidez compuesta:

$$G = 2.5501 * \gamma^2 - 7.4806 * \gamma + 13.108$$

$$\xi = -0.8159 * e^{-\gamma} + 0.2491 * \gamma - 1.1243 * \sqrt{\gamma} + 1.2603$$

Donde:

G = Módulo de corte de la goma.

ξ = Razón de amortiguamiento crítico del aislador.

Cómo en el proceso de modelación se consideró que $\xi = 8\%$ para los aisladores elastoméricos, imponiendo esta condición se tiene:

$$0.08 = -0.8159 * e^{-\gamma} + 0.2491 * \gamma - 1.1243 * \sqrt{\gamma} + 1.2603 \rightarrow \gamma = 1.294.$$

De los análisis sísmico se obtuvo el promedio de los desplazamientos de diseño del conjunto de aisladores, obteniéndose un $D_D = 31.84$ cm $\rightarrow 1.294 = 31.84 / H_r$
 $\rightarrow H_r = 24.606$ cm.

Por otro lado el módulo de corte consiste con $\gamma = 1.294$ es:

$$G = 2.5501 * 1.294^2 - 7.4806 * 1.294 + 13.108 = 7.698 \text{ Kg/cm}^2$$

Conocido G y conocido Hr y la rigidez de cada aislador de acuerdo a lo indicado en la Tabla III-19, $K_h = 227.5304 \text{ ton/m} = 2275.304 \text{ Kg/cm} = \frac{\pi * r^2 * 7.698}{24.606} \rightarrow r = 48.115 \text{ cm}$, vale decir el diámetro de la goma $D = 96.23 \text{ cm}$.

El desplazamiento total de diseño del aislador con mayor deformación lateral = 34.96 cm, pero tal como lo indica la Nch2745Of2003, el Desplazamiento Total de Diseño Mínimo = $D_{TD} = 1.1 * D_D = 35.024 \text{ cm}$. y el Desplazamiento Máximo debido al sismo máximo = $D_M = M_M * D_D$, la Nch2745Of20023 indica que el factor M_M que permite estimar el sismo máximo probable con el sismo de diseño puede tomarse igual a 1.20. Luego el desplazamiento Máximo Total en el aislador deberá ser igual a $D_{TM} = 1.2 * D_{TD} = 42.029 \text{ cm}$. Como los aisladores de este modelo no reciben carga axial, la deformación angular total es igual a la deformación por corte obtenida por el sismo máximo probable $\rightarrow \gamma_o = 42.029 / 24.606 = 1.708$, el factor de seguridad $F.S. = \frac{0.85 * \epsilon_b}{\gamma_o}$, con $\epsilon_b = 6.5 \rightarrow F.S. = \frac{0.85 * 6.5}{1.708} = 3.23 > 1.5 \text{ OK!!}$.- el diseño satisface las condiciones de estabilidad.

Si el espesor de las placas de goma es 1.3 cm. entonces se deberán colocar 19 capas de goma, $H_r = 24.7 \text{ cm}$, si se consideran placas de acero de 2 mm de espesor se colocarán 18 placas de acero, luego el diseño final se muestra en la Figura IV-23:

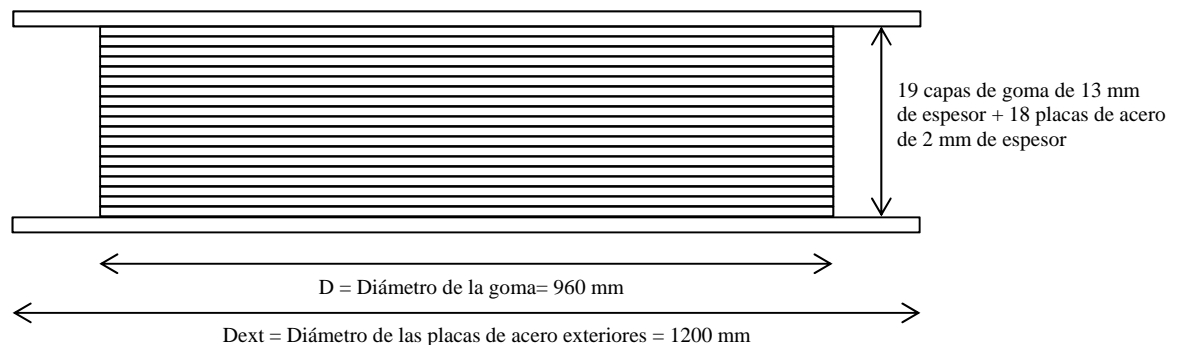


Figura IV-23: Dimensiones y Conformación del Aislador Elastomérico Tipo (S/E).
[Fuente: Elaboración Propia]

Para el diseño de los deslizadores sísmicos se considera como material el Teflón 15GF, para lograr un coeficiente de fricción de $\mu_{\max} = 10\%$ (valor considerado en el modelo AMS9) la presión que debe ejercer el núcleo del deslizador sobre la placa deslizante debe ser igual a 2000 psi (140.61 Kg/cm²), de acuerdo a esto y conociendo las fuerzas normales que se generan en cada deslizador se puede obtener el diámetro que debe tener el núcleo del deslizador para obtener los coeficientes de fricción deseados. El $D_{TM} = 1.2 * D_{TD} = 41.97$ cm del deslizador más desfavorable, el radio exterior del deslizador será igual al radio del núcleo más 45 cm, en la Tabla IV-34 se muestran los diámetros que deben tener los núcleos de cada deslizador (ver Figura III-21).

Tabla IV-34: Resumen de los Diámetros de los Núcleos de los Deslizadores Ficcionales.

Elemento	N [ton]	A _{des.} (cm ²)	D _{Núcleo} (cm)	D _{exterior} (cm)
Des 1	-34.19	243.18	17.60	107.60
Des 2	-59.13	420.51	23.14	113.14
Des 3	-52.83	375.69	21.87	111.87
Des 4	-29.07	206.73	16.22	106.22
Des 5	-43.84	311.81	19.92	109.92
Des 6	-53.97	383.80	22.11	112.11
Des 7	-19.51	138.73	13.29	103.29
Des 8	-26.16	186.07	15.39	105.39
Des 9	-16.95	120.52	12.39	102.39
Des 10	-13.65	97.11	11.12	101.12

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Figura IV-24 y Figura IV-25 se muestran las dimensiones del deslizador friccional, así como también las dimensiones de los elementos que componen el deslizador.

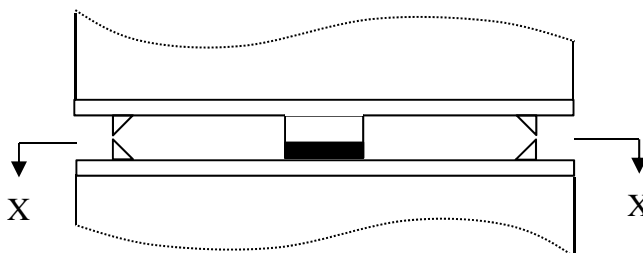


Figura IV-24: Elevación del Deslizador Friccional (S/E).

[Fuente: Elaboración Propia]

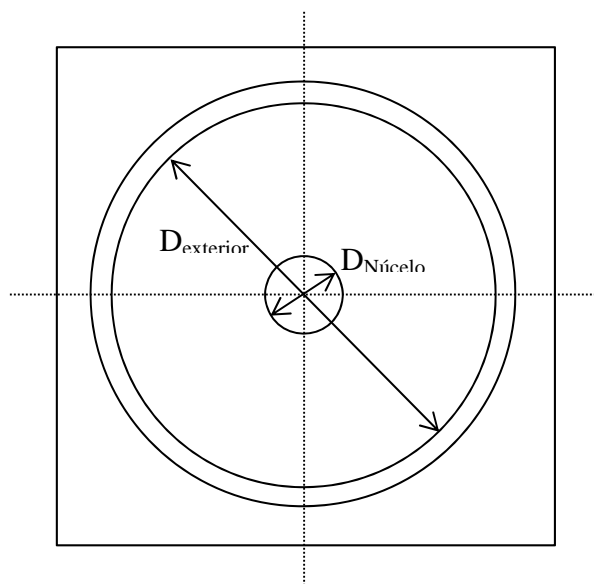


Figura IV-25: Corte X-X del Deslizador Friccional (S/E).
[Fuente: Elaboración Propia]

IV.5 Análisis Sísmico del Modelo Final del Edificio con AMS.

Para considerar las condiciones reales e incorporar la ubicación y las nuevas dimensiones establecidas en la etapa de diseño de los aisladores friccionales y los deslizadores friccionales en el modelo, se modificó el modelo AMS9 considerando las nuevas propiedades de los aisladores y sus nuevas ubicaciones, estos cambios fueron incorporados al modelo AMS9 generándose el modelo AMS9 Final, en este modelo se realizaron los análisis sísmicos utilizando los registros sintéticos de aceleraciones antes indicados. En la Tabla IV-35 se muestran las propiedades dinámicas del modelo AMS9 Final, al compararlas con las propiedades dinámicas del modelo AMS9 (Ver Tabla IV-11) podemos apreciar que las propiedades dinámicas prácticamente no cambiaron, por lo que las respuestas del modelo AMS9 y AMS9 Final no debieran presentar grandes diferencias.

En la Tabla IV-36 se muestra las fuerzas de corte a nivel basal máximas desarrolladas en el edificio con AMS9 Final medidas en las direcciones X e Y, al compararlas con las fuerzas de corte basal máximas producidas en el modelo AMS9 indicadas en la Tabla IV-23, las diferencias en estas respuestas son menores al 1%.

Tabla IV-35: Periodos Naturales de Vibración Estructura con AMS9 Final.

Estructura con AMS9 Final				
	T [seg]	Mx [%]	My [%]	Rz [%]
Modo 1	1.2414	40.22	3.61	1.30
Modo 2	1.1760	4.06	26.66	2.77
Modo 3	0.9402	21.19	0.61	0.59
Modo 4	0.8986	2.08	22.12	8.79
Modo 5	0.7557	0.02	4.17	2.87
Modo 6	0.5781	0.48	9.16	38.87
Modo 7	0.3339	9.57	1.46	0.48
Modo 8	0.3082	2.17	9.00	0.48
Modo 9	0.1864	0.00	0.72	9.11
Modo 10	0.1811	2.38	3.18	0.67

[Fuente: Elaboración Propia]

Tabla IV-36: Fuerzas de Corte a Nivel Basal del Edificio con AMS9 Final.

Análisis		Estructura con AMS9 Final			
		Qx	Qy	Qx max	Qy max
		[ton]	[ton]	[ton]	[ton]
Llolleo100-2010	Max	3392.95	3218.16	3392.95	3218.16
	Min	-3239.96	-2910.87		
Llolleo10-2010	Max	3124.50	3989.34	3313.40	3989.34
	Min	-3313.40	-3673.89		
Llolleo100-1985	Max	3141.39	2840.10	4092.42	3437.54
	Min	-4092.42	-3437.54		
Llolleo10-1985	Max	3656.30	3330.23	3782.14	3330.23
	Min	-3782.14	-2940.99		
Vina290-1985	Max	3336.33	3317.19	3736.75	3317.19
	Min	-3736.75	-3113.64		
Vina200-1985	Max	2751.08	3385.79	3071.09	3385.79
	Min	-3071.09	-3040.84		

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-37 se muestran los porcentajes de reducciones de los desplazamientos y rotaciones promedios del modelo AMS9 Final, al comparlas con las reducciones obtenidas en el modelo AMS9 (ver Tablas IV-28, IV-29 y IV-30) podemos apreciar que las diferencias son menores en las reducciones de los dos modelos son inferiores a 1%.

Tabla IV-37: Reducciones de los Desplazamientos Promedio y Rotaciones Promedio del CM por Nivel del Modelo AMS9 Final.

Piso	% Δx promedio	% Δy promedio	% θ promedio
1	20%	30%	23%
2	22%	26%	24%
3	24%	27%	24%
4	24%	27%	24%
5	25%	28%	25%
6	25%	27%	25%
7	25%	27%	26%
8	25%	28%	25%
9	25%	28%	24%
10	24%	27%	23%
11	23%	27%	22%
12	23%	27%	22%
13	23%	27%	22%
14	23%	27%	22%
15	23%	41%	22%
Promedio	24%	28%	24%
Desv. Est.	1.3%	3.4%	1.2%

[Fuente: Elaboración Propia]

En la Tabla IV-38, se muestra el resumen de los porcentajes de reducción de las respuestas promedio y el promedio simple de las reducciones de los modelos AMS9 y AMS9 Final, en estas se puede apreciar que la diferencia es prácticamente nula y para fines prácticos despreciable, por lo que las observaciones indicadas en el inciso IV.3 se mantienen.

Tabla IV-38: Resumen de los Porcentajes de Reducción de Respuestas de los Modelos AMS9 y AMS9 Final.

	AMS9	AMS9-Final
% Q_x _{prom.}	19.72%	19.71%
% Q_y _{prom.}	29.09%	28.89%
% Δx _{prom.}	23.51%	23.57%
% Δy _{prom.}	28.26%	28.24%
% θ _{prom.}	23.74%	23.66%
Prom.	24.86%	24.81%
Desv.	3.43%	3.38%

[Fuente: Elaboración Propia]

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se describen las conclusiones correspondientes a los objetivos planteados en el siguiente estudio, los cuales son válidos para el edificio analizado “Edificio Santiago Norte” y en algunos casos estas conclusiones se pueden generalizar a cualquier otro edificio con características similares.

En este edificio fue posible utilizar la losa de azotea del edificio para la confección de un AMS como sistema de reducción de vibraciones, alcanzando en promedio un 25% de reducción en las respuestas estudiadas. En la mayoría de los edificios con plantas regulares es posible construir un AMS utilizando la losa de azotea, hay que tener especial cuidado con los elementos estructurales que suben por sobre el nivel de azotea, tal como la sala de máquinas de los ascensores, así como también ductos y elementos no estructurales que conectan el nivel de azotea con el resto del edificio, también se debe proveer del distanciamiento necesario entre el AMS y el edificio de tal modo que no se produzcan impactos entre el edificio y el dispositivo.

Los modelos de AMS que generaron mayores porcentajes de reducción en las distintas respuestas fue cuando se sintonizó la frecuencia de vibración traslacional medida en la dirección Y del edificio sin AMS con la frecuencia de vibración traslacional medida en la dirección Y del AMS disponiendo los aisladores elastoméricos lo más alejados del CM, esto se consiguió con el modelo AMS9, esto se produce debido a que el edificio original posee periodos de vibración traslacional medidos en la dirección X e Y bastante cercanos o parecidos: $T_x = 1,142$ seg, $T_y = 1,037$ seg, por tanto sintonizando el AMS con el modo predominante en la dirección Y del edificio sin AMS se consigue generar una cuasi sintonía para la dirección X. Al aumentar la rigidez torsional del AMS permite controlar de forma más eficiente la rotación en planta del edificio. Probablemente si el edificio original posee periodos de vibración traslacional bien distanciados, la forma óptima de producir la sintonía que maximice los porcentajes de reducción en las respuestas medidas en la dirección X e Y (R_x e R_y) debiera ser cuando se sintonice las frecuencias de vibración traslacional del AMS en la dirección X e Y, con las frecuencias vibración traslacional de la

estructura original en ambas direcciones, logrando una sintonía simultánea en ambas direcciones, además se debe aumentar al máximo la rigidez torsional del AMS y/o disponer los elementos disipativos y restituitivos lo más alejado posible del CM del AMS, de manera tal que cuando el AMS se activa en alguno de los modos traslacionales, el AMS producirá momentos de torsión sobre el edificio los que permitirán controlar la torsión en planta de este reduciendo las respuestas asociadas a la torsión, para lograr esto es necesario que los grados de libertad del AMS se encuentren acoplados.

Si bien es cierto la incorporación de deslizadores friccionales permitieron aumentar el nivel de amortiguamiento en el AMS, este efecto no generó una variación sustancial en la reducción de las respuestas estudiadas, más aún la variación en el nivel de amortiguamiento del AMS generó un aumento de 3 puntos porcentuales en los niveles de reducción de respuesta consiguiéndose las mayores reducciones cuando el AMS posee un 12% del amortiguamiento crítico.

Tal como lo indicado por diversos investigadores, se pudo verificar que el AMS es un dispositivo altamente sensible al contenido de frecuencias de las excitaciones utilizadas para realizar el análisis sísmico, además de como la energía que le imprime la excitación es direccionada en la estructura, esto se pudo verificar al obtener diferentes niveles de reducción de respuesta al utilizar distintos pares registros, aunque todos compatibles con el mismo espectro de respuesta, además se obtuvo diferentes niveles de reducción de respuestas al aplicar el mismo par de registros aplicados en distinta dirección, esto nos indica la necesidad de estudiar cómo afecta el ángulo de incidencia del sismo de entrada en la eficiencia del AMS como dispositivo de reducción de vibraciones, así como también estudiar la dispersión de la eficiencia del AMS al utilizar diferentes sismos de entrada. De acuerdo a ello el AMS no resulta ser confiable como sistema de reducción de vibraciones en estructuras sometidas a sismos, debido a la incertidumbre que existe en el contenido de frecuencias al cual estará expuesta la estructura durante su vida útil cuando esta sea solicitada por uno o más sismos de gran magnitud.

Por otro lado si una estructura posee un AMS como dispositivo de disipación de energía y esta estructura es solicitada por un sismo de gran magnitud, se producirá el agrietamiento de algunas secciones transversales de los elementos estructurales que componen la estructura, más aún algunas podrían llegar a su plastificación, estos cambios en la estructura durante la ocurrencia del sismo genera un cambio en sus propiedades dinámicas lo que producirá una pérdida de sintonía con el AMS y consecuentemente una pérdida en la eficiencia de este como sistema de reducción de vibraciones, de acuerdo a esto se hace necesario estudiar la variación en la eficiencia del AMS por los cambios producidos en las propiedades dinámicas del edificio producto del agrietamiento o plastificación de algunas secciones transversales de la estructura durante la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

BIBLIOGRAFÍA

Almazán, J.L. and De la Llera, J.C. (2009). Torsional balance as a new design criterion for asymmetric structures with energy dissipation devices. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Volumen N° 38, páginas 1421-1440.

Almazán, J.L., Espinoza G. and Aguirre, J.J. (2012). Torsional balance of asymmetric structures by means of tuned mass dampers. *Engineering Structures*, Volumen N° 42, páginas 308-328.

Bakre. S.V y Jangid R.S. (2007). Optimum parameters of tuned mass damper for damped main system, *Structural Control and Health monitoring*, páginas 448-470.

Connor J.J. (2000), Introduction to Structural Motion Control, *Massachusetts Institute of Technology*. Massachusetts

Documento Técnico N°29 CDT (2011). Protección Sísmica de Estructuras: Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía. *Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción*.

De la Llera, J. C. y Almazán, J.L. (2003). An experimental study of nominally symmetric and asymmetric structures isolated with the FPS. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Volumen N° 32, páginas 891-918.

De la Llera, J. C., Lüders C., Leigh P, Sady H. (2004). Analysis, testing, and implementation of seismic isolation of buildings in Chile. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Volumen N° 33, páginas 543-574.

De la Llera, J. C. (2011). Notas de clases del curso: IEG3530 Disipación de Energía. Magíster en Ingeniería Estructural y Geotécnica, *Pontificia Universidad Católica de Chile*.

Den Hartog J. P. (1934), *Mechanical Vibrations*, McGraw-Hill. New York.

Frahm, H. (1909), Device for damping vibrations of bodies, U.S. Patent No. 989958.

Ioi, T. and Ikeda, K (1978), On the Dynamic Vibration Damped Absorber of the Vibration System. *Bulletin of Japanese Society of Mechanical Engineering*, 21(151), páginas 64-71 .

Jangid, R.S. y Datta, T.K. (1997). Performance of multiple tuned mass dampers for torsionally coupled system. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Volumen N° 26, páginas 307–317.

Lin C., Ueng J, Huang T. (1999). Seismic response reduction of irregular buildings using passive tuned mass dampers. *Engineering Structures*, Volumen N° 22, páginas 513-524.

Norma Chilena Oficial, NCh2745Of2003. Análisis y diseño de edificios con Aislación Sísmica. *Instituto Nacional de Normalización*.

Rozas, L. (2009). Reducción de la Respuesta Estructural por Medio del Uso de Disipadores de Masa Sintonizada y Disipadores de Columna Líquida Sintonizada. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería. *Universidad de Chile*.

Warburton, G. B. (1982). Optimal absorber parameters for various combinations of response and excitation parameters. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Volumen N° 10, páginas 381–401.