

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Porcentaje de amortiguamiento ideal de una
edificación de 5 niveles en el distrito de El Tambo -
Huancayo 2023**

Erik Edgar Alejo Tovar

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Angel Narcizo Aquino Fernández
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 27 de Mayo de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Porcentaje de amortiguamiento ideal de una edificación de 5 niveles en el distrito de El Tambo – Huancayo 2023

Autor:

Erik Edgar Alejo Tovar – EAP. Ingeniería Civil

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): 10 SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,



Asesor de trabajo de investigación

ASESOR

Ma. Ángel Narcizo Aquino Fernández

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser mi quien guía mis pasos, y aunque no lo pueda ver, he podido presenciar su gloria.

A mis padres quienes son el motor que impulsa cada logro, por enseñarme a que el triunfo no viene por sí sólo, sino que es el resultado del trabajo y la mejora continua.

DEDICATORIA

Con muchísimo aprecio y gratitud a mis docentes de la Universidad Continental sede Huancayo, quienes con sus conocimientos hicieron posible que me formase en lo académico y ético.

ÍNDICE

ASESOR.....	i
AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA.....	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	14

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1	Formulación del problema.....	18
1.1.1	Problema General.....	18
1.1.2	Problemas Específicos	18
1.2	Objetivos.....	18
1.2.1	Objetivo General.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos.....	18
1.3	Justificación e importancia	18
1.4	Justificación social.....	19
1.4.1	Justificación práctica.....	19
1.4.2	Justificación metodológica.....	19
1.4.3	Justificación viabilidad	19
1.5	Limitaciones de la investigación.....	20
1.5.1	Delimitación espacial.....	20
1.5.2	Delimitación temporal	21
1.5.3	Delimitación conceptual	21
1.6	Hipótesis	21
1.6.1	Hipótesis General.....	21
1.6.2	Hipótesis Específicas	21
1.6.3	Descripción de variables	21
1.6.4	Operacionalización de las variables	23

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación	24
2.1.1	Antecedentes internacionales	24
2.1.2	Antecedentes nacionales	28
2.2	Bases Teóricas	35
2.2.1	Enfoque sismorresistente convencional	35
2.2.2	Amortiguamiento según normas	35
2.2.3	Sistemas de amortiguamiento viscoso	35
2.2.4	Aplicaciones prácticas de sistemas con amortiguamiento viscoso	50
2.2.5	Equipos y dispositivos para la medición de vibraciones estructurales	55
2.2.6	Consideraciones de diseño	57

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1	Método, tipo o alcance de la investigación	59
3.1.1	Método de investigación	59
3.1.2	Tipo de investigación	59
3.1.3	Nivel de investigación	59
3.1.4	Diseño de investigación	59
3.1.5	Población	60
3.1.6	Muestra	60
3.2	Materiales y Métodos (aplicación de la ingeniería)	60
3.2.1	Técnica e instrumentos de recolección de datos	60
3.2.2	Análisis de datos	61

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Presentación de resultados	62
4.1.1	Descripción del proyecto	62
4.1.2	Análisis modal – Análisis de los modos de vibración	67
4.1.3	Análisis dinámico espectral	72
4.1.4	Construcción de espectros de respuesta para diversos niveles de amortiguamiento	77
4.1.5	Análisis dinámico con diferentes valores de amortiguamiento – Cortantes	91
4.1.6	Contrastación de hipótesis	97

4.2	Discusión de resultados	98
CAPÍTULO V CONCLUSIONES.....		101
RECOMENDACIONES		102
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		103
ANEXOS.....		108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de las variables.	23
Tabla 2	Porcentaje de amortiguamiento según normas.	35
Tabla 3	Límites para distorsión del entrepiso.	58
Tabla 4	Modos de vibración, períodos naturales y porcentajes de masa participativa en la Superestructura 1.	68
Tabla 5	Modos de vibración, períodos naturales y porcentajes de masa participativa en la Superestructura 2.	69
Tabla 6	Modos de vibración, períodos naturales y porcentajes de masa participativa en la Superestructura 3.	71
Tabla 7	Escalamiento de registros sísmicos para el amortiguamiento del 4%.	81
Tabla 8	Escalamiento de registros sísmicos para el amortiguamiento del 5%.	82
Tabla 9	Escalamiento de registros sísmicos para el amortiguamiento del 6%.	82
Tabla 10	Cortantes para el amortiguamiento del 4% Super estructura 1.	91
Tabla 11	Cortantes para el amortiguamiento del 5% Super estructura 1.	92
Tabla 12	Cortantes para el amortiguamiento del 6% Super estructura 1.	93
Tabla 13	Cortantes para el amortiguamiento del 4% Super estructura 2.	93
Tabla 14	Cortantes para el amortiguamiento del 5% Super estructura 2.	94
Tabla 15	Cortantes para el amortiguamiento del 6% Super estructura 2.	95
Tabla 16	Cortantes para el amortiguamiento del 4% Super estructura 3.	95
Tabla 17	Cortantes para el amortiguamiento del 5% Super estructura 3.	96
Tabla 18	Cortantes para el amortiguamiento del 6% Super estructura 3.	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación de la edificación de 5 niveles	20
Figura 2	Aplicación de una fuerza oscilatoria periódica, b) Comportamiento dinámico de un sistema sin amortiguamiento sometido a una excitación armónica; $w/w_n=0.2$, $u(0)=0.5p_0/k$, y $\ddot{u}(0)=w_n p_0/k$	36
Figura 3	Deformación estática.....	38
Figura 4	Relación de amplificación de respuesta y fase en un sistema sin amortiguamiento bajo carga oscilante periódica.....	38
Figura 5	Comportamiento dinámico de un sistema sin amortiguamiento sometido a una excitación sinusoidal de frecuencia definida.....	39
Figura 6	Respuesta de un sistema amortiguado ante una fuerza armónica; $w/w_n=0.2$, $\zeta=0.05$, $u(0)=0.5p_0/k$, y $\dot{u}(0)=w_n p_0/k$	40
Figura 7	Respuesta de un sistema con amortiguamiento $\zeta = 0.05$, sometido a una excitación sinusoidal con frecuencia igual a la natural y condiciones iniciales nulas.....	41
Figura 8	Respuesta de tres sistemas con amortiguamientos $\zeta = 0.01, 0.05$ y 0.1 frente a una excitación sinusoidal resonante, bajo condiciones iniciales nulas.....	42
Figura 9	Variación de la amplitud de la respuesta de acuerdo con el número de ciclos de una fuerza armónica con frecuencia $w=w_n$	42
Figura 10	Respuesta estacionaria de los sistemas amortiguados ($\zeta=0.2$) ante una fuerza sinusoidal para tres valores de la relación de frecuencia: (a) $w/w_n=0.5$, (b) $w/w_n=1$, (c) $w/w_n=2$	43
Figura 11	Factor de amplificación del desplazamiento y desfase angular en un sistema con amortiguamiento sometido a excitación armónica.....	44
Figura 12	Factores de respuesta de desplazamiento y desfase angular en un sistema amortiguado sometido a excitación armónica.....	46
Figura 13	Comportamiento dinámico de sistemas amortiguados: respuesta en desplazamiento, velocidad y aceleración ante cargas armónicas.....	47
Figura 14	Representación en escala tetra-logarítmica de los factores de amplificación dinámica de desplazamiento, velocidad y aceleración en un sistema amortiguado sometido a excitación armónica.....	48
Figura 15	Representación del ancho de banda.....	49
Figura 16	Generador de vibración con peso excéntrico y giro en exposición.....	51

Figura 17	Generador de vibraciones: (a) configuración en posición inicial; (b) posición angular y fuerza generada en función del tiempo.....	51
Figura 18	Determinación de la frecuencia natural y del amortiguamiento mediante ensayos de excitación armónica	52
Figura 19	Evaluación del amortiguamiento a partir de la curva de respuesta en la frecuencia.	53
Figura 20	Transmisibilidad bajo excitación armónica: la relación de transmisión para la fuerza aplicada y para el movimiento del terreno resulta ser equivalente en sistemas lineales.	54
Figura 21	Dibujo esquemático de un instrumento para medir vibraciones y registrar el movimiento.....	55
Figura 22	Variación de R_d y ϕ con la relación de frecuencia w/w_n para $\zeta=0.6, 0.65, 0.7$ y 0.75	56
Figura 23	Comparativa entre la aceleración real del terreno y la respuesta registrada por un instrumento con frecuencia natural $f_{n}=50$ Hz y $\zeta=0.7$	57
Figura 24	Plano de estructuración de la edificación en estudio.....	63
Figura 25	Superestructura 1	64
Figura 26	Superestructura 2	64
Figura 27	Superestructura 3	65
Figura 28	Superestructura 1 modelada en ETABS	65
Figura 29	Superestructura 2 modelada en ETABS	66
Figura 30	Superestructura 3 modelada en ETABS	66
Figura 31	Superestructura 1 Modos de vibración	67
Figura 32	Superestructura 2 Modos de vibración	69
Figura 33	Superestructura 3 Modos de vibración	70
Figura 34	Superestructura 1,2 y 3. Espectro de Pseudo aceleraciones X-X.....	72
Figura 35	Superestructura 1,2 y 3. Espectro de Pseudo aceleraciones Y-Y	73
Figura 36	Superestructura 1. Derivas máximas usando el criterio CQC Dirección X.	74
Figura 37	Superestructura 1. Derivas máximas usando el criterio CQC Dirección Y	74
Figura 38	Superestructura 2. Derivas máximas usando el criterio CQC Dirección X	75
Figura 39	Superestructura 2. Derivas máximas usando el criterio CQC Dirección Y	75
Figura 40	Superestructura 3. Derivas máximas usando el criterio CQC Dirección X	76
Figura 41	Superestructura 3. Derivas máximas usando el criterio CQC Dirección Y	76
Figura 42	Ingreso de parámetros para el sismo de Huaraz 1970	77

Figura 43	Ingreso de parámetros para el sismo de Ica 2007	78
Figura 44	Ingreso de parámetros para el sismo de Lima 1966	78
Figura 45	Ingreso de parámetros para el sismo de Lima 1974	79
Figura 46	Espectro de respuesta para Huaraz 1970	79
Figura 47	Espectro de respuesta para Ica 2007	80
Figura 48	Espectro de respuesta para Lima 1966	80
Figura 49	Espectro de respuesta para de Lima 1974	81
Figura 50	Generación de los espectros de respuestas al 4%	83
Figura 51	Generación de los espectros de respuestas al 5%	83
Figura 52	Generación de los espectros de respuestas al 6%	84
Figura 53	Espectro elástico de diseño al 4%.	85
Figura 54	Espectro de diseño al 5%	86
Figura 55	Espectro de diseño al 6%	86
Figura 56	Espectros inelásticos de diseño en la dirección X	87
Figura 57	Espectros inelásticos de diseño en la dirección Y	87
Figura 58	Derivas de entrepiso en Super estructura 1; con distintos amortiguamientos – Dir. XX	88
Figura 59	Derivas de entrepiso en Super estructura 1; con distintos amortiguamientos – Dir. YY	88
Figura 60	Derivas de entrepiso en Super estructura 2; con distintos amortiguamientos – Dir. XX	89
Figura 61	Derivas de entrepiso en Super estructura 2; con distintos amortiguamientos – Dir. YY	89
Figura 62	Derivas de entrepiso en Super estructura 3; con distintos amortiguamientos – Dir. XX	90
Figura 63	Derivas de entrepiso en Super estructura 3; con distintos amortiguamientos – Dir. YY	90
Figura 64	Cortantes de entrepiso en Super estructura 1 - sismo dinam. 4%	91
Figura 65	Cortantes de entrepiso en Super estructura 1 - sismo dinam. 5%	92
Figura 66	Cortantes de entrepiso en Super estructura 1 - sismo dinam. 6%	92
Figura 67	Cortantes de entrepiso en Super estructura 2 - sismo dinam. 4%	93
Figura 68	Cortantes de entrepiso en Super estructura 2 - sismo dinam. 5%	94
Figura 69	Cortantes de entrepiso en Super estructura 2 - sismo dinam. 6%	94
Figura 70	Cortantes de entrepiso en Super estructura 3 - sismo dinam. 4%	95

Figura 71	Cortantes de entrepiso en Super estructura 3 - sismo dinam. 5%	96
Figura 72	Cortantes de entrepiso en Super estructura 3 - sismo dinam. 6%	96

RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de la variación del porcentaje de amortiguamiento en la respuesta sísmica de una edificación de 5 niveles en El Tambo – Huancayo, conforme a los lineamientos de la Norma Técnica Peruana E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones. La investigación se enmarcó en el método científico, con un enfoque aplicado, nivel explicativo y diseño no experimental. La muestra estuvo conformada por una edificación de 5 niveles ubicada en la Av. Ferrocarril N°2610 – El Tambo – Huancayo, seleccionada mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia. Se efectuaron simulaciones estructurales para coeficientes de amortiguamiento del 4%, 5% y 6%, a fin de evaluar su influencia en tres parámetros clave: deriva de entrepiso, cortante basal y espectros de respuesta. Para ello, se emplearon registros sísmicos reales ajustados al tipo de suelo de la zona. Los resultados indicaron que un amortiguamiento del 4% genera derivas estructuralmente aceptables en la mayoría de los casos, a pesar de que en ciertas condiciones estas superan levemente los límites normativos sin comprometer la estabilidad global de la estructura. El cortante basal correspondiente al 4% alcanzó 43.436 Ton, confirmando un diseño estructural conservador. Se concluye que la variación del coeficiente de amortiguamiento tiene un impacto significativo en la respuesta sísmica, siendo el 4% una opción viable y segura para edificaciones similares. Este trabajo constituye una base técnica útil para futuras investigaciones sobre amortiguamiento estructural en contextos urbanos con alta sismicidad.

Palabras clave: amortiguamiento, respuesta sísmica, deriva de entrepiso, cortante basal, Norma Técnica Peruana E.030.

ABSTRACT

The present study aimed to determine the effect of varying the damping percentage on the seismic response of a 5-story building in El Tambo, Huancayo, in accordance with the guidelines of Peruvian Technical Standard E.030 of the National Building Regulations. The research was framed within the scientific method, with an applied approach, explanatory level, and non-experimental design. The sample consisted of a 5-story building located at Av. Ferrocarril N°2610, El Tambo, Huancayo, selected through non-probabilistic convenience sampling. Structural simulations were performed for damping coefficients of 4%, 5%, and 6% to evaluate their influence on three key parameters: story drift, base shear, and response spectra. For this purpose, real seismic records adjusted to the soil type of the area were used. The results indicated that a 4% damping coefficient generates structurally acceptable drifts in most cases, although under certain conditions these drifts slightly exceed the regulatory limits without compromising the overall stability of the structure. The base shear corresponding to the 4% damping coefficient reached 43,436 tons, confirming a conservative structural design. It is concluded that varying the damping coefficient has a significant impact on seismic response, with 4% being a viable and safe option for similar buildings. This work constitutes a useful technical basis for future research on structural damping in urban contexts with high seismic activity.

Keyword: damping, seismic response, mezzanine drift, basal shear, Peruvian Technical Standard E.030.

INTRODUCCIÓN

A nivel global, la ingeniería estructural enfrenta grandes desafíos en la prevención de daños sísmicos, lo que hace necesario el análisis detallado del porcentaje de amortiguamiento en las edificaciones. La correcta evaluación del amortiguamiento permite minimizar vibraciones, reducir la deriva de entrepiso, optimizar la estabilidad estructural y mejorar la seguridad en construcciones de distintas tipologías. En áreas con intensa actividad sísmica, el amortiguamiento estructural es un factor determinante en la respuesta de las construcciones ante eventos sísmicos, evitando daños severos y colapsos estructurales (Chopra, 2014). Estudios recientes han demostrado que una adecuada selección del coeficiente de amortiguamiento permite optimizar el desempeño estructural sin incrementar significativamente los costos de construcción (Marulanda et al., 2023).

En este contexto, el presente estudio se centra en una edificación de 5 niveles ubicada en la Av. Ferrocarril N°2610, distrito de El Tambo, Huancayo, caracterizada por un sistema estructural dual, con pórticos en el eje Y, así como albañilería en el eje X. La investigación analiza la influencia de diferentes valores de amortiguamiento (4%, 5% y 6%) en la respuesta sísmica, comparando los resultados obtenidos con los valores recomendados por la Norma Técnica Peruana E.030 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018). Para ello, se aplicaron registros sísmicos reales escalados al tipo de suelo del distrito, lo que permitió una evaluación precisa de la respuesta estructural bajo distintas condiciones de amortiguamiento.

Esta investigación tiene como propósito abordar la siguiente cuestión central: ¿Qué impacto tiene la variación del porcentaje de amortiguamiento en la respuesta sísmica de una edificación de cinco niveles ubicada en El Tambo – Huancayo, conforme a lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.030? Para ello, se examina la relación entre el nivel de amortiguamiento y parámetros fundamentales como los espectros de respuesta, la deriva de entrepiso y el cortante basal, contrastando los resultados con los límites definidos por la normativa vigente. Asimismo, se analiza cómo dicha variación influye en el desempeño estructural general, teniendo en cuenta principios de seguridad y funcionalidad aplicables a edificaciones de mediana altura.

Este estudio reviste una gran importancia, ya que el Distrito de El Tambo presenta una densificación urbana creciente y una alta vulnerabilidad sísmica, lo que hace imprescindible desarrollar estrategias de diseño estructural que minimicen los efectos de los sismos en las edificaciones. La evaluación del amortiguamiento estructural en edificaciones de 5 niveles permitirá establecer criterios técnicos que contribuyan al desarrollo de infraestructuras más seguras y resilientes en zonas de alto riesgo sísmico.

Con el fin de abordar las interrogantes planteadas y cumplir con los objetivos establecidos, el desarrollo de la presente tesis se organiza en cuatro capítulos:

Capítulo I: Expone el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos, la justificación de la investigación y su delimitación, estableciendo el marco contextual en el que se sitúa el estudio.

Capítulo II: Desarrolla el marco teórico, integrando antecedentes nacionales e internacionales relacionados con el amortiguamiento estructural, normativas sismorresistentes y estudios previos vinculados al tema.

Capítulo III: Describe la metodología empleada, especificando el enfoque, tipo, nivel y diseño de la investigación, así como las técnicas de recolección y procesamiento de datos, apoyadas en herramientas especializadas como ETABS y Seismo Signal.

Capítulo IV: Detalla los resultados obtenidos, la verificación de hipótesis y la discusión correspondiente, mostrando cómo la variación del amortiguamiento afecta la estabilidad estructural y permitiendo una comparación entre los diferentes escenarios analizados.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, proporcionando insumos para futuras investigaciones sobre diseño sismorresistente en edificaciones de características similares. Los hallazgos de esta investigación contribuirán al diseño óptimo de estructuras en zonas de alta sismicidad, brindando una base técnica para mejorar la seguridad y eficiencia estructural en edificaciones urbanas de mediana altura, permitiendo que los diseñadores estructurales adopten decisiones informadas en la selección del coeficiente de amortiguamiento más adecuado para cada caso particular.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

Uno de los desafíos más recurrentes en el ámbito de la construcción es la presencia de errores estructurales, los cuales pueden originarse debido a la falta de estudios de ingeniería, la no consideración del entorno climatológico, el desconocimiento de criterios de diseño y la ausencia de normativa aplicable. La vulnerabilidad estructural ha sido evidenciada en diversos casos a nivel internacional y nacional, demostrando la importancia de considerar estrategias de control de vibraciones para mejorar la estabilidad y seguridad de las edificaciones.

Un ejemplo representativo es la torre Citicorp en Nueva York, diseñada por el ingeniero civil William LeMessurier, con una altura de 279 m y un voladizo de 22 m. Esta edificación fue una de las primeras en incorporar un amortiguador de masa sintonizada (TMD), con una masa de 400 mil kilogramos suspendida en aceite presurizado. El diseño original solo consideró el efecto del viento perpendicular a las caras de la torre. Sin embargo, gracias a un análisis más detallado, se identificó un incremento del 160% en las tensiones debido a la acción del viento diagonal, lo que requirió ajustes estructurales en obra para prevenir una catástrofe (Agudelo, 2016).

Otro caso importante es el colapso de los grandes almacenes Sampoong en Seúl, Corea del Sur (1995). Esta tragedia ocurrió debido a errores en el diseño estructural y modificaciones no autorizadas en el edificio, resultando en la muerte de 502 personas y más de 900 heridos. Se determinó que la estructura fue debilitada por la adición de pisos sin refuerzos adecuados y el uso de materiales de baja calidad (National Geographic Channel, 2006).

Más recientemente, en Florida, EE. UU. (2021), el edificio Champlain Towers South colapsó parcialmente, dejando 98 muertos. Investigaciones revelaron que la degradación de las estructuras de soporte de hormigón armado, debido a la penetración de agua y la corrosión del acero de refuerzo, fue un factor determinante en el colapso (Infobae, 2024).

En Turquía (2023), tras un sismo de magnitud 7.8, se reportaron múltiples colapsos de edificios que no cumplían con las normas antisísmicas, evidenciando fallos en el diseño estructural y el uso de materiales deficientes. Este desastre dejó más de 50,000 fallecidos, lo que resaltó la necesidad de una construcción más resistente a sismos (BBC, 2023).

En Colombia, el caso del edificio Continental Towers en Medellín pone en evidencia los riesgos derivados de fallas estructurales. Esta edificación fue demolida mediante implosión el 8 de diciembre de 2022, debido a que sus elementos estructurales presentaban demandas de fuerza y desplazamientos que generaban sobreesfuerzos en diversos componentes, comprometiendo su estabilidad (Giraldo, 2022).

En el Perú, el terremoto de Pisco, en 2007, causó el colapso de múltiples edificaciones, incluyendo la Iglesia de San Clemente, donde más de 200 personas fallecieron debido al derrumbe de estructuras de adobe y concreto mal diseñadas (INDECI, 2009).

Otro caso reciente en Lima (2023) es el de edificaciones en riesgo de colapso en San Juan de Miraflores, donde construcciones con bases angostas y escaleras exteriores expuestas a sismos han sido señaladas como vulnerables ante eventos sísmicos (Infobae, 2023).

Estos casos resaltan la necesidad de evaluar y mejorar el amortiguamiento en las edificaciones para mitigar los riesgos asociados a fallas estructurales.

El amortiguamiento estructural es un parámetro clave en el diseño sismorresistente, ya que permite disipar la energía inducida por un sismo y minimizar la respuesta dinámica de la edificación. En el contexto normativo, la E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones dispone un valor de amortiguamiento del 5%, basado en estándares internacionales y experimentales. No obstante, investigaciones previas han evidenciado que este valor puede variar en función del sistema estructural, la configuración del edificio y los materiales empleados (Colqui, 2018).

Estudios recientes han demostrado que la variación del amortiguamiento afecta significativamente la respuesta sísmica de las edificaciones. En la presente investigación, se analizarán tres valores de amortiguamiento (4%, 5% y 6%), con el propósito de evaluar su impacto en la deriva de entrepiso, el cortante basal y los espectros de respuesta, utilizando herramientas de modelación estructural avanzadas como ETABS y Seismo Signal.

Considerando que los problemas estructurales pueden surgir en cualquier tipo de edificación, se vuelve imprescindible analizar el impacto del amortiguamiento en construcciones de más de tres niveles. En este marco, la presente investigación tiene como propósito determinar el porcentaje de amortiguamiento óptimo en una edificación de cinco niveles ubicada en el distrito de El Tambo, provincia de Huancayo.

1.1 Formulación del problema

1.1.1 Problema General

¿Cuál es el efecto de la variación del porcentaje de amortiguamiento en la respuesta sísmica de una edificación de 5 niveles en El Tambo – Huancayo, según la Norma Técnica Peruana E.030?

1.1.2 Problemas Específicos

- a. ¿Cómo varían los espectros de respuesta del edificio considerando coeficientes de amortiguamiento del 4%, 5% y 6%?
- b. ¿Cómo influye el amortiguamiento en la deriva de entrepiso y el cortante basal?
- c. ¿Cómo se comparan los resultados obtenidos con los valores recomendados por la normativa peruana?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar el efecto de la variación del porcentaje de amortiguamiento en la respuesta sísmica de una edificación de 5 niveles en El Tambo – Huancayo, con base en la Norma Técnica Peruana E.030

1.2.2 Objetivos Específicos

- a. Analizar los espectros de respuesta del edificio para coeficientes de amortiguamiento del 4%, 5% y 6%
- b. Evaluar la influencia del amortiguamiento en la deriva de entrepiso y el cortante basal
- c. Comparar los resultados obtenidos con los valores recomendados por la normativa peruana

1.3 Justificación e importancia

Todo diseño estructural debe considerar un modelamiento sísmico preciso que permita reducir las fuerzas sísmicas actuantes en la edificación. Uno de los aspectos más relevantes en este proceso es la evaluación y selección del porcentaje de amortiguamiento, ya que su correcta elección permite absorber y disipar la energía generada por un sismo, logrando que la estructura mantenga un comportamiento predominantemente elástico y minimizando los daños estructurales.

1.4 Justificación social

En muchos casos, las edificaciones son construidas sin planos estructurales ni memoria descriptiva, lo que genera un alto riesgo estructural. Esto ocurre principalmente en el ámbito de la autoconstrucción, donde los propietarios suelen evitar la inversión en profesionales capacitados. La presente investigación busca proporcionar fundamentos técnicos y criterios estructurales que permitan mejorar los diseños de edificaciones, considerando el porcentaje de amortiguamiento como un indicador clave de calidad y seguridad estructural. Al sustentar la importancia de este parámetro, se espera contribuir a la reducción de edificaciones vulnerables en zonas de alta sismicidad.

1.4.1 Justificación práctica

La evaluación estructural debe cumplir con la normativa vigente, en especial con los lineamientos de la Norma Técnica Peruana E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones. En este sentido, la presente tesis tiene una aplicación práctica directa, ya que permite verificar, mediante análisis estructural, la influencia del amortiguamiento en edificaciones de 5 niveles. Los resultados obtenidos pueden emplearse en diseños estructurales reales, optimizando la seguridad y desempeño sísmico de futuras construcciones.

1.4.2 Justificación metodológica

Los procesos de diseño estructural siguen una secuencia metodológica rigurosa, dentro de la cual se debe priorizar el control del porcentaje de amortiguamiento en edificaciones de altura media. Para ello, en esta investigación, se emplearán herramientas especializadas como Seismo Signal y ETABS, permitiendo una evaluación precisa de la respuesta estructural ante distintos niveles de amortiguamiento. La aplicación de estos softwares garantizará resultados confiables y replicables en estudios posteriores.

1.4.3 Justificación viabilidad

El análisis del porcentaje de amortiguamiento añade un valor diferencial en el diseño de edificaciones, promoviendo construcciones más seguras, eficientes y sostenibles. Esta investigación es viable tanto en términos de disponibilidad de herramientas de análisis como en su aplicabilidad práctica, ya que sus hallazgos pueden ser implementados en futuras construcciones en zonas de alta sismicidad. La presente tesis, por tanto, representa un aporte

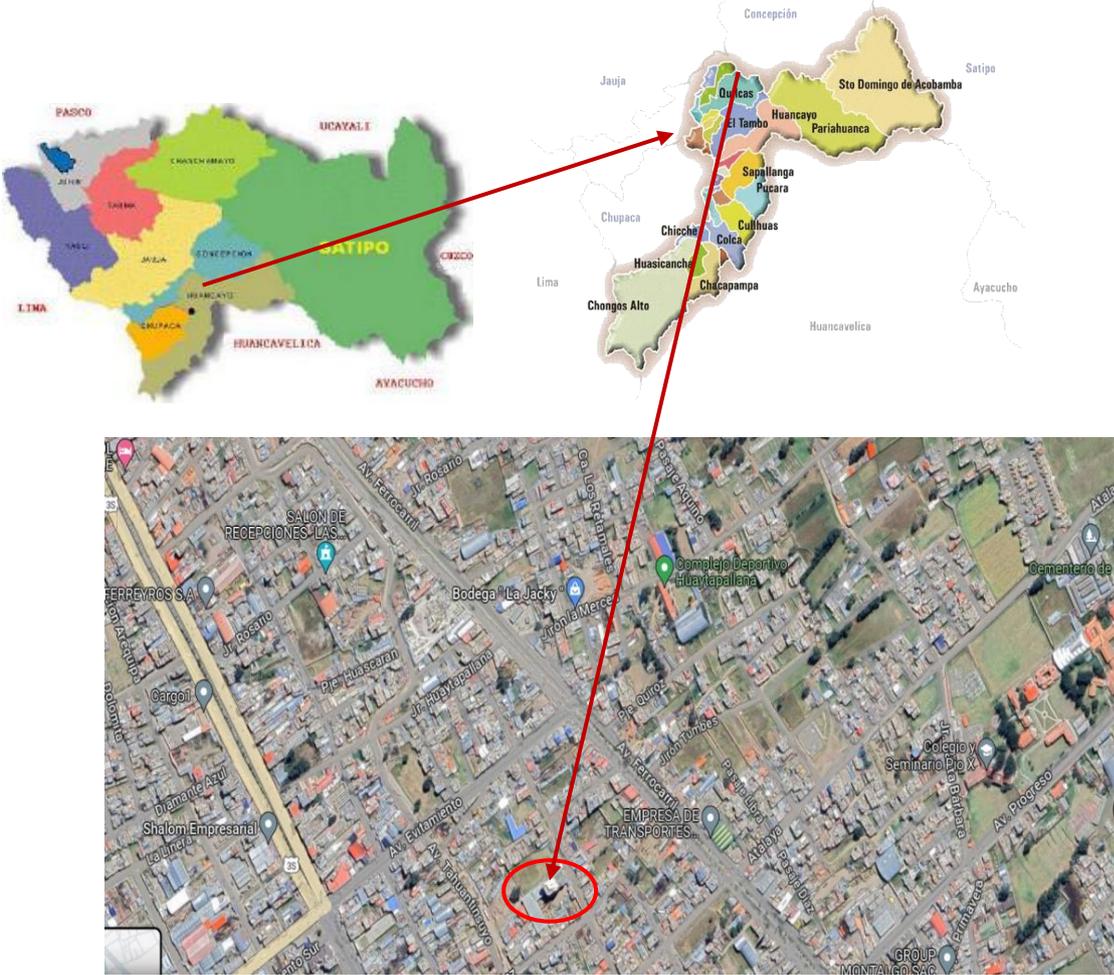
significativo para la comunidad técnica y profesional, fomentando el uso de criterios avanzados en el diseño sismorresistente.

1.5 Limitaciones de la investigación

1.5.1 Delimitación espacial

Figura 1

Ubicación de la edificación de 5 niveles



Nota. Imagen extraída de Google Maps (2024)

La presente tesis consistió en el estudio de una edificación de 5 niveles, esta se localiza en:

- Nombre de la vía : Av. Ferrocarril N°2610
- Distrito : El Tambo
- Provincia : Huancayo

Departamento : Junín
Altitud : 3260 msnm

1.5.2 Delimitación temporal

El desarrollo de la tesis se llevó a cabo entre septiembre y noviembre de 2023.

1.5.3 Delimitación conceptual

La presente tesis consistió en el estudio de una edificación de 5 niveles, con un área construida de 126.76 m², para un mejor estudio está se dividió en 3 partes, separadas por una junta sísmica de 5 cm, recalando que en sentido X se tuvo una configuración estructural de albañilería, mientras que en el eje Y se tuvo configuración de pórticos.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

La variación del coeficiente de amortiguamiento influye significativamente en la respuesta sísmica del edificio, afectando los espectros de respuesta y la demanda estructural según la Norma Técnica Peruana E.030.

1.6.2 Hipótesis Específicas

- a. Un coeficiente de amortiguamiento del 4% genera derivas mayores en comparación con el 5%, sin exceder los valores límite de la normativa.
- b. Un coeficiente de amortiguamiento del 6% reduce las derivas, pero puede afectar la demanda de cortante basal.
- c. El factor de modificación de demanda (DMF) incrementa con el aumento del amortiguamiento, alterando la respuesta dinámica de la estructura.

1.6.3 Descripción de variables

- a. Variable independiente: Amortiguamiento

Chopra (2014) el amortiguamiento se refiere al proceso mediante el cual una estructura mecánica disipa energía, transformándola en calor. En términos generales, este mecanismo

permite que la amplitud de vibración disminuya progresivamente con el tiempo. Existe varios mecanismos, de ellas sobresale Coulomb y viscosa.

b. Variable dependiente: Comportamiento estructural sísmico.

El comportamiento estructural se refiere a la evaluación de la capacidad de una edificación para resistir y responder adecuadamente ante la acción de un movimiento sísmico (Seismous, 2018). Esto se logra mediante la evaluación de las fuerzas y desplazamientos.

1.6.4 Operacionalización de las variables

Tabla 1

Operacionalización de las variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ESCALA
Variable independiente: Amortiguamiento	Chopra (2014) el amortiguamiento se refiere al proceso mediante el cual una estructura mecánica disipa energía, transformándola en calor. En términos generales, este mecanismo permite que la amplitud de vibración disminuya progresivamente con el tiempo. Existe varios mecanismos, de ellas sobresale Coulomb y viscosa	Se medirá el comportamiento sísmico de una edificación de 5 niveles empleando un amortiguamiento de 4%, 5% y 6%.	D1: Porcentaje de amortiguamiento	I1: 4% I2: 5% I3: 6%	Ficha de recolección de datos	Razón
Variable dependiente: Comportamiento estructural sísmico	El comportamiento estructural se refiere a la evaluación de la capacidad de una edificación para resistir y responder adecuadamente ante la acción de un movimiento sísmico (Seismous, 2018). Esto se logra mediante la evaluación de las fuerzas y desplazamientos	Se medirá el comportamiento estructural a través de los espectros, desplazamiento y DMF de la edificación de 5 niveles.	D1: Evaluación sísmica de la edificación de 5 niveles	I1: Espectros I2: Desplazamientos I3: DMF	Memoria de calculo	Razón

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Para que la presente tesis tiene un sustento teórico, se hizo necesario recolectar indagaciones, artículos científico y estudios que demuestren que existe una influencia del amortiguamiento sobre el comportamiento estructural.

2.1.1 Antecedentes internacionales

Machuca et al. (2018), en la investigación titulada *Determinación de parámetros óptimos de amortiguadores de masa sintonizada (AMS) en un edificio de acero de 28 pisos*, tuvieron como objetivo determinar los parámetros óptimos de diseño de un sistema de amortiguadores de masa sintonizada (AMS), aplicado a un edificio de acero de 28 pisos, con la finalidad de mejorar su comportamiento estructural frente a eventos sísmicos. Para ello, se adaptó el modelo arquitectónico de un edificio de hormigón ubicado en el centro de Concepción, transformándolo en una estructura equivalente de acero. El análisis estructural se realizó utilizando el software ETABS, considerando distintas configuraciones del AMS en cuanto a masa y razón de amortiguamiento crítico. La metodología consistió en un análisis paramétrico en el que se evaluaron las respuestas dinámicas del edificio –corte basal, desplazamientos y aceleraciones en la azotea– frente a un registro sísmico sintético compatible con la Norma Chilena NCh433. Los resultados mostraron que el uso de un AMS con una masa equivalente al 1.5% de la masa total del edificio y una razón de amortiguamiento del 30% del crítico logra reducir significativamente las sollicitaciones estructurales. Sin embargo, incrementos adicionales en la masa del dispositivo generaron mejoras poco significativas respecto a los costos adicionales que implican. Se concluye que el AMS es una solución efectiva para reducir la respuesta sísmica en edificios altos, pero su diseño debe balancear eficiencia estructural y viabilidad económica según el tipo de proyecto.

Espinoza et al. (2018) desarrollaron el artículo científico titulado “Análisis de un amortiguador de masa sintonizado óptimo en asimétricas no lineales”; tuvieron como objetivo evaluar el desempeño de un amortiguador de masa sintonizada (AMS) instalado en una

estructura asimétrica de un piso, compuesta por tres ejes resistentes con comportamiento no lineal ante solicitaciones sísmicas. La investigación se centró en analizar cómo la implementación del AMS afecta la disipación de energía en sistemas estructurales con geometría y rigidez irregular. A través de modelaciones numéricas, se comparó el comportamiento dinámico de la estructura con y sin la presencia del AMS. Los resultados indicaron que el dispositivo logra reducir de forma efectiva la energía disipada en el eje donde se encuentra instalado, mejorando la respuesta estructural en esa zona. No obstante, se observó una amplificación de la respuesta dinámica en los ejes alejados del amortiguador, evidenciando un comportamiento diferencial debido a la asimetría y la no linealidad del sistema. En conclusión, el estudio demuestra que el AMS puede ser una herramienta eficiente para controlar la respuesta sísmica en estructuras asimétricas, siempre que su ubicación y diseño se consideren cuidadosamente.

Mendoza (2019) ejecutó la tesis denominada *Cocientes de espectros de respuesta para sistemas con amortiguamiento viscoso no lineal en distintas zonas de la Ciudad de México*; tuvo como finalidad analizar el comportamiento de sistemas estructurales equipados con amortiguadores viscosos no lineales, considerando las distintas zonas sísmicas de la Ciudad de México. El estudio parte del reconocimiento de que México se encuentra en una región de alta actividad sísmica, producto de la interacción de varias placas tectónicas (Norteamérica, Cocos, Pacífico, Rivera y Caribe), además de fallas locales activas. Ante esta realidad, se ha promovido el diseño de edificaciones sismorresistentes que incorporen sistemas de disipación de energía, como amortiguadores y aisladores sísmicos. La investigación se centró en los amortiguadores viscosos no lineales, caracterizados por dos parámetros fundamentales: la constante de amortiguamiento no lineal (CNL) y el exponente de velocidad α , cuyo valor determina el grado de no linealidad del dispositivo. Cuando $\alpha = 1$, el comportamiento es lineal; mientras que α cercano a 0 representa un comportamiento similar al de un amortiguador por fricción. Se concluye que, para diseñar correctamente este tipo de amortiguadores, es necesario definir previamente un nivel de desempeño estructural deseado, asociado a un desplazamiento pico obtenido a partir del espectro de respuesta del movimiento sísmico de diseño. Este estudio aporta criterios clave para la selección y dimensionamiento de dispositivos de disipación no lineales, reforzando la importancia de adaptar los sistemas de control pasivo a las condiciones sísmicas específicas del sitio.

Romero (2020), en la tesis *Análisis y comportamiento estructural de un edificio aislado en la base con aisladores sísmicos de alto amortiguamiento – HDRB*, tuvo como objetivo

analizar el comportamiento estructural de un edificio equipado con aisladores sísmicos de alto amortiguamiento (HDRB), haciendo énfasis en los efectos de la no linealidad geométrica durante su respuesta dinámica. El estudio se enfocó en comparar el comportamiento de la estructura bajo análisis elástico y no lineal, especialmente considerando los efectos P-Delta. Los resultados demostraron que, en el rango elástico, la influencia de la no linealidad geométrica es mínima; sin embargo, al alcanzar el estado de fluencia, dicha no linealidad adquiere relevancia, disminuyendo la capacidad estructural frente a desplazamientos similares respecto a modelos que no consideran este efecto. Además, se evidenció que el desplazamiento calculado a partir del análisis elástico tiende a ser mayor que el obtenido con el análisis no lineal. Esta diferencia se atribuye a que los modelos no lineales representan mejor los mecanismos de disipación de energía, como el comportamiento histerético de los aisladores y la formación de rótulas plásticas, que no son considerados en los análisis lineales. Asimismo, se destacó que los análisis lineales se basan en espectros de diseño que agrupan las máximas respuestas de múltiples registros sísmicos, mientras que el análisis no lineal evalúa la respuesta completa de la estructura ante cada registro. En conclusión, el estudio subraya la importancia de utilizar modelos no lineales para obtener resultados más realistas en estructuras con dispositivos de aislamiento sísmico.

Espinoza et al. (2021) desarrollaron el artículo científico titulado *Eficiencia de un amortiguador de columna de líquido sintonizado considerando una excitación sísmica de bajo contenido de frecuencias e incertidumbre*; tuvieron como finalidad evaluar el comportamiento de una estructura lineal equipada con un amortiguador de columna de líquido sintonizado (ACLS), sometida a excitaciones sísmicas con bajo contenido frecuencial y condiciones de incertidumbre. La investigación analizó cómo las variaciones en parámetros críticos del dispositivo, tales como la razón de masa, la razón de longitud y el periodo de la estructura, afectan la eficiencia del ACLS. Los resultados demostraron que la introducción de incertidumbre tiene un impacto significativo en el diseño óptimo del dispositivo. Se observó que las mayores alteraciones en los parámetros de sintonía ocurren cuando la razón de masa supera el 7%. Asimismo, se concluyó que una incertidumbre del 10% en el periodo estructural puede generar desviaciones de hasta un 7% en la razón de sintonía óptima del ACLS, lo que compromete su desempeño frente a eventos sísmicos.

Marulanda et al. (2023) desarrollaron el artículo científico denominado “Repotenciación sísmica con aislamiento de cubierta como amortiguador de masa sintonizado para edificios académicos”; tuvieron objetivo principal del estudio fue evaluar la eficiencia de

un sistema de aislamiento en cubierta que actúa como un amortiguador de masa sintonizado (TMD), aplicado a edificios de uso académico. La metodología se centró en realizar un análisis de vulnerabilidad sísmica sobre 24 edificios pertenecientes a la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Valle. Los resultados evidenciaron que 18 de estas edificaciones presentan condiciones estructurales favorables para implementar aislamiento de cubierta, debido a que se identificaron niveles de rigidez que oscilan entre el 31% y 40%, y niveles de resistencia comprendidos entre el 7% y el 8% de la masa estructural. Se concluye que el uso de aislamiento en cubierta como TMD representa una estrategia viable y eficaz para repotenciar edificaciones existentes, sin requerir modificaciones invasivas en la estructura principal.

Quispe (2023) desarrolló la tesis titulada *Evaluación del nivel de desempeño sísmico considerando la interacción suelo-estructura de un edificio armado de seis pisos*; tuvo como objetivo analizar el efecto de la interacción suelo-estructura (SSI, por sus siglas en inglés) en el comportamiento sísmico de una edificación de seis niveles. Para ello, se realizó un análisis estático no lineal (pushover) en dos modelos estructurales del mismo edificio: uno con base rígida y otro incorporando la flexibilidad del terreno mediante resortes equivalentes que simulan la SSI. Los resultados evidenciaron que la consideración de la interacción suelo-estructura tiene un impacto significativo en la respuesta dinámica del sistema. En particular, se observó un incremento del 20% en los desplazamientos laterales en el modelo con SSI respecto al modelo con base fija. Asimismo, en términos de desempeño sísmico, el modelo de base fija alcanzó el nivel de “Seguridad de vida”, mientras que el modelo que incluyó la SSI descendió al nivel de “Prevención de colapso”, lo cual representa una condición de mayor vulnerabilidad estructural. Se concluye que la SSI no debe ser subestimada en el análisis estructural, ya que su influencia puede comprometer tanto la estabilidad como el nivel de seguridad de las edificaciones frente a sismos.

Jiménez (2024) desarrolló la tesis titulada: *Diseño sísmico de edificios con amortiguadores viscosos*. El objetivo de la tesis fue proponer un procedimiento de diseño sísmico simplificado para edificios de concreto reforzado con amortiguadores viscosos, con el fin de ilustrar la aplicación de criterios básicos de diseño y mejorar la respuesta sísmica de las estructuras. La investigación se centra en el estudio de un edificio prototipo de concreto reforzado, estructurado con marcos regulares en planta y elevación, ubicado en la Ciudad de México. Se analizan los daños estructurales y no estructurales observados en sismos históricos, destacando la necesidad de implementar tecnologías de control de respuesta sísmica, como los amortiguadores viscosos. Se describen los conceptos básicos, fabricación, instalación, ventajas

y desventajas de estos dispositivos. Posteriormente, se propone un procedimiento de diseño sísmico que integra amortiguadores viscosos, considerando aspectos como la modelación y distribución óptima de los dispositivos en la estructura. Al aplicar el procedimiento propuesto al edificio prototipo, se observa que la incorporación de amortiguadores viscosos permite reducir las demandas sísmicas, disminuyendo desplazamientos, velocidades y aceleraciones en cada entrepiso. Esto conduce a un incremento en la seguridad estructural y al confort de los ocupantes durante eventos sísmicos. Además, se destaca que el uso de estos dispositivos puede resultar en un ahorro económico al optimizar el diseño y reducir la necesidad de reforzamientos convencionales. La incorporación de amortiguadores viscosos en el diseño sísmico de edificios de concreto reforzado es una estrategia efectiva para mejorar su desempeño ante eventos sísmicos. El procedimiento de diseño simplificado propuesto facilita la aplicación de estos dispositivos, contribuyendo a estructuras más resilientes y confortables.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Mucha (2019) desarrolló la tesis titulada: *Evaluación del comportamiento sismorresistente de un centro educativo empleando la norma técnica E.0.30, anterior y la actual vigente*, tuvo como objetivo evaluar el efecto de la variación del porcentaje de amortiguamiento en la respuesta sísmica de una edificación de cinco niveles ubicada en el distrito de El Tambo – Huancayo, tomando como base comparativa la Norma Técnica Peruana E.030, tanto en su versión anterior como en la vigente. El estudio se centró en analizar el impacto de distintos coeficientes de amortiguamiento (4%, 5% y 6%) en parámetros clave del diseño estructural como los espectros de respuesta, la deriva de entrepiso y el cortante basal. La metodología consistió en el desarrollo de modelaciones estructurales dinámicas, utilizando espectros de respuesta normativos para simular el comportamiento sísmico de la edificación. Los resultados mostraron que el coeficiente del 4% genera derivas superiores al 5%, aunque sin exceder los límites normativos. En cambio, el 6% reduce las derivas, pero incrementa la demanda de cortante basal. Además, se observó que, a mayor amortiguamiento, el factor de modificación de demanda (DMF), también, se incrementa, afectando la respuesta dinámica global. Se concluye que la variación del amortiguamiento tiene un impacto significativo en la estabilidad y desempeño sísmico de la estructura. Si bien el 5% sigue siendo un valor normativo aceptado, este estudio sugiere que su adecuación debe evaluarse caso por caso, según el sistema estructural y las condiciones de diseño.

Muriel (2019) desarrolló la tesis titulada: *Análisis y diseño estructural con interacción sísmica suelo-estructura para una edificación multifamiliar en Jayllihuaya-Puno*, para un sismo moderado, considerando amortiguamiento de 6%”, tuvo como objetivo principal realizar un análisis y diseño estructural de una edificación multifamiliar en Jayllihuaya, Puno, considerando la interacción sísmica suelo–estructura (SSI) y un coeficiente de amortiguamiento del 6%. El estudio surge de la necesidad de desarrollar edificaciones que respondan adecuadamente ante eventos sísmicos, reconociendo que la seguridad estructural es fundamental para el desarrollo urbano sostenible en zonas sísmicamente activas. La metodología consistió en modelar la edificación incorporando la flexibilidad del terreno mediante elementos de resorte equivalentes, que simulan el efecto de la interacción dinámica entre la superestructura y el suelo de cimentación. Se evaluaron los desplazamientos de piso bajo un escenario sísmico moderado y se compararon los resultados con los obtenidos en un modelo con base rígida. Los resultados evidenciaron que la consideración de la SSI provoca un incremento considerable en los desplazamientos de piso: 33.78% en el eje X y 23.80% en el eje Y. Además, al aplicar un amortiguamiento del 6%, se observó una tendencia a mayores desplazamientos en ambos ejes, lo que resalta la sensibilidad del sistema estructural a este parámetro. Se concluye que tanto la interacción suelo–estructura como el nivel de amortiguamiento influyen de manera significativa en el comportamiento sísmico del edificio. Por tanto, su consideración en el diseño estructural es esencial para garantizar edificaciones más seguras y confiables en regiones sísmicamente vulnerables como el altiplano puneño.

Casaverde (2019) efectuó la indagación denominada: “Espectros de aceleración para diferentes porcentajes de amortiguamiento y su aplicación en el diseño de estructuras industriales”; tuvo como finalidad generar espectros de aceleración adaptados a distintos porcentajes de amortiguamiento crítico y evaluar su aplicación en el diseño sismorresistente de estructuras industriales. La investigación parte del reconocimiento de que, a nivel internacional, existen factores de modificación que permiten ajustar los espectros de respuesta para diversos niveles de amortiguamiento, especialmente en edificaciones que incorporan sistemas de disipación de energía o están construidas con materiales de baja capacidad amortiguadora, como el acero estructural. El estudio consideró que, en estructuras industriales metálicas, el amortiguamiento suele ser inferior al 5%, lo que incrementa la necesidad de aplicar factores de corrección para evitar subestimaciones en las aceleraciones y fuerzas sísmicas. A través de un análisis comparativo, se identificó que utilizar un único factor de modificación para todo el espectro puede inducir errores en el diseño estructural, especialmente

en zonas de transición espectral. Se concluyó que, dependiendo del nivel de disipación esperado, se deberían aplicar diferentes factores de modificación del espectro. Por ejemplo, para estructuras sin dispositivos adicionales se sugiere emplear un amortiguamiento conservador del 2%, mientras que, para aquellas con dispositivos pasivos de energía, podrían considerarse valores del 10%. En base a ello, se propusieron tres factores de modificación diferenciados, permitiendo una aplicación más precisa y segura de los espectros en el diseño de estructuras industriales sometidas a acción sísmica.

Soto (2021) desarrolló la tesis titulada *Análisis sísmico al utilizar 2% y 5% del amortiguamiento estructural en el Colegio Estatal de Oxamarca, provincia de Celendín – Cajamarca 2020*; tuvo como objetivo comparar la respuesta sísmica de una edificación educativa empleando dos niveles de amortiguamiento estructural: 2% y 5%. La investigación surge ante la preocupación de que errores en el diseño estructural, especialmente por omitir el factor de amortiguamiento, han contribuido al colapso de edificaciones durante sismos, generando importantes pérdidas económicas y humanas. La muestra de estudio incluyó todos los módulos del Colegio Estatal de Oxamarca (módulo 1, 2A, 2B y 3), ubicados en la provincia de Celendín, región Cajamarca. El análisis estructural permitió evaluar las derivas máximas y las fuerzas internas bajo ambos escenarios de amortiguamiento. Los resultados revelaron que, si bien todos los módulos cumplieron con los límites establecidos por la Norma Técnica Peruana E.030, existieron diferencias notables. Por ejemplo, las derivas se incrementaron en un 22.79% en la dirección X del módulo 2B y en un 30.95% en la dirección Y del módulo 3 al usar 2% de amortiguamiento. Asimismo, el módulo 2A mostró los mayores incrementos en fuerzas axiales, con valores del 22.83% en el eje X y 22.77% en el eje Y. Se concluye que la hipótesis inicial, que planteaba que las respuestas no variarían significativamente entre ambos niveles de amortiguamiento, fue refutada. La variación del coeficiente de amortiguamiento impacta considerablemente tanto en las respuestas estructurales como en las fuerzas internas, con diferencias que oscilan entre 15% y 32% en deformaciones, y entre 6% y 24% en sollicitaciones.

Castillo (2020) efectuó la indagación titulada “Respuesta estructural del bloque C del edificio de la nueva sede del Poder Judicial utilizando 3 tipos de aisladores elastoméricos: de bajo amortiguamiento, con núcleo de plomo y de alto amortiguamiento”, tuvo como objetivo analizar la respuesta estructural del bloque C del edificio de la nueva sede del Poder Judicial, comparando el desempeño de tres tipos de aisladores elastoméricos: de bajo amortiguamiento, con núcleo de plomo (LRB) y de alto amortiguamiento (HDRB). El estudio parte del

reconocimiento de que el Perú es un país altamente sísmico, con diversidad de condiciones geotécnicas, lo que exige diseños estructurales que incorporen estrategias de aislamiento sísmico eficientes. El enfoque metodológico fue de tipo no experimental, descriptivo y transversal, y la evaluación se realizó mediante modelación estructural en el software ETABS v16. Se analizó el comportamiento dinámico del bloque C, considerando cada tipo de aislador bajo condiciones de diseño sísmico definidas por la normativa vigente. Los resultados mostraron que el aislador de alto amortiguamiento (HDRB) ofreció el mejor desempeño estructural. Se obtuvo un periodo natural de vibración de 1.873 segundos, con derivas máximas de 0.000793 en el eje X y 0.00096 en el eje Y. En cuanto al cortante basal, se registraron valores de 163.59 toneladas en X y 162.29 toneladas en Y. Se concluye que el uso de aisladores HDRB mejora significativamente la respuesta estructural frente a eventos sísmicos, reduciendo las sollicitaciones internas y desplazamientos, lo que lo convierte en una solución técnica viable para edificaciones públicas críticas en zonas de alta sismicidad.

Arbizu (2022) efectuó la tesis denominada *Respuesta sísmica de una edificación de 15 niveles con amortiguador de masa sintonizadas en el distrito del Tambo – Junín*, abordó el análisis de la respuesta sísmica de una edificación de 15 niveles ubicada en el distrito de El Tambo – Junín, mediante la incorporación de un amortiguador de masa sintonizada (TMD). El estudio parte del reconocimiento del crecimiento acelerado de edificaciones verticales, lo cual exige diseños estructurales más eficientes que garanticen seguridad frente a cargas sísmicas y eólicas. En ese contexto, se propuso evaluar el efecto del TMD como dispositivo de control pasivo, capaz de contrarrestar la acción sísmica mediante una masa acoplada ubicada en la parte superior de la estructura. La investigación siguió un enfoque científico con método hipotético-deductivo, fue de tipo aplicada, nivel explicativo y diseño no experimental. La población estuvo conformada por una única edificación de 15 niveles, seleccionada mediante un muestreo no probabilístico intencional, lo que permitió un análisis detallado de caso. Los resultados demostraron que la implementación del TMD contribuye significativamente a la reducción de derivas de entrepiso. En el eje X, las derivas se redujeron desde un 22.55% en el primer nivel hasta un 21.4% en los niveles superiores. En el eje Y, la disminución fue del 19.83% en el primer nivel y del 14.01% en el nivel superior. Se concluye que la incorporación de dispositivos de control sísmico como el TMD en la etapa de diseño estructural mejora el desempeño dinámico de edificaciones de gran altura, consolidándose como una estrategia viable y efectiva para aumentar la seguridad estructural en zonas de alta sismicidad.

Ayala (2022) desarrolló la tesis denominada *Mejoramiento de la respuesta dinámica de una edificación de 16 niveles incorporando amortiguadores de masa sintonizada en el distrito de Lince*; tuvo como finalidad mejorar el desempeño dinámico de una edificación de 16 niveles ubicada en el distrito de Lince, Lima, mediante la implementación de un amortiguador de masa sintonizada (TMD). El estudio consistió en modelar la estructura existente con herramientas de análisis estructural, evaluando su comportamiento frente a excitaciones sísmicas utilizando registros compatibles con la Norma Técnica Peruana E.030. El TMD fue diseñado con una masa equivalente al 2% de la masa total del edificio y sintonizado con la frecuencia natural fundamental de la estructura. La evaluación se centró en tres parámetros principales: desplazamientos, aceleraciones y fuerzas internas. Los resultados evidenciaron una mejora significativa en la respuesta sísmica de la edificación. Los desplazamientos máximos se redujeron en un 15% en la dirección X y en un 12% en la dirección Y. Las aceleraciones en la azotea disminuyeron en un 18% y 14% en las direcciones X e Y, respectivamente. Asimismo, las fuerzas cortantes en la base se redujeron en aproximadamente 10%, lo cual sugiere una menor demanda estructural y la posibilidad de optimizar costos en el diseño de refuerzos. Se concluye que la incorporación de un TMD con masa del 2% representa una estrategia eficaz para mitigar las respuestas sísmicas en edificaciones de gran altura. Este estudio valida el uso de TMD como solución viable y eficiente para mejorar la seguridad estructural y el confort de los ocupantes en zonas de alta sismicidad.

Bullon (2023) desarrolló la tesis denominada *Mejora de la respuesta estructural mediante la implementación de amortiguadores sintonizados en edificaciones de la ciudad de Huancayo 2021*; tuvo como objetivo evaluar la influencia de amortiguadores sintonizados en la respuesta estructural de una edificación de 13 niveles en la ciudad de Huancayo. El estudio comparó el comportamiento sísmico de la estructura ante la incorporación de dos tipos de dispositivos de control pasivo: amortiguadores de masa sintonizada (TMD) y amortiguadores de líquido sintonizado (TLD). Se utilizó como caso de estudio el edificio “NEO18”, modelado mediante el software ETABS v20, cuya validación matemática permitió realizar análisis modales espectrales. Para el diseño del TMD, se aplicó la teoría de Den Hartog (1940), mientras que el TLD fue desarrollado con un algoritmo específico en Matlab. Ambos dispositivos se diseñaron considerando una relación de masa del 1% respecto a la masa total de la estructura. Los resultados evidenciaron mejoras significativas en el comportamiento estructural. En promedio, la implementación de amortiguadores redujo los desplazamientos en un 12.50%, las

fuerzas cortantes en 10.15%, las velocidades en 8.82% y las aceleraciones en 6.93%. El TLD demostró mayor eficacia, logrando reducciones del 13.27% y 14.53% en desplazamientos (direcciones X e Y), y del 11.14% y 11.25% en fuerzas cortantes basales, respectivamente. Se concluye que los amortiguadores sintonizados, especialmente los de tipo líquido, representan una alternativa eficiente para mitigar la respuesta sísmica en edificaciones de gran altura.

Llontop (2023) desarrollo la tesis denominada: “Análisis y diseño comparativo entre un edificio con amortiguadores de masa sintonizada y un edificio convencional en la ciudad de Chiclayo” tuvo como finalidad evaluar el impacto de la implementación de amortiguadores de masa sintonizada (TMD) en el comportamiento sísmico de edificios de gran altura ubicados en zonas de alta sismicidad en el Perú. El estudio comparó estructuralmente edificaciones convencionales frente a aquellas equipadas con TMD, con el propósito de identificar mejoras en su desempeño frente a eventos sísmicos. La metodología consistió en modelaciones estructurales realizadas mediante software especializado, en las que se analizaron distintos parámetros de respuesta dinámica: desplazamientos, aceleraciones y fuerzas internas. Las simulaciones permitieron comparar el comportamiento estructural de ambas configuraciones —con y sin TMD— bajo la acción de sismos representativos. Los resultados evidenciaron que la incorporación de TMD reduce de forma significativa tanto los desplazamientos como las aceleraciones, lo que incrementa la seguridad y la eficiencia del diseño estructural. Asimismo, se observó una disminución notable en las fuerzas internas de los elementos estructurales, lo que implica una menor demanda de resistencia y rigidez, y una potencial optimización en el uso de materiales. Se concluye que los TMD representan una solución técnica viable y efectiva para mejorar la respuesta sísmica de edificaciones de gran altura. Su implementación contribuye a la seguridad estructural y a un mejor desempeño funcional, consolidándose como una estrategia recomendada en el diseño sismorresistente para regiones de alta peligrosidad sísmica como Chiclayo y otras ciudades del Perú.

Matos (2024) desarrollo la tesis denominada: *Influencia de la incorporación de amortiguadores de masa sintonizada en una edificación multifamiliar de 15 pisos con 2 sótanos, ubicado en El Tambo – Huancayo*, tuvo como objetivo principal evaluar el impacto de la incorporación de amortiguadores de masa sintonizada (AMS) en la respuesta sísmica de edificaciones de gran altura ubicadas en zonas de alta peligrosidad sísmica. El caso de estudio corresponde a una edificación multifamiliar de 15 niveles con 2 sótanos, localizada en el distrito de El Tambo, Huancayo. La metodología consistió en la modelación estructural de la edificación con y sin la implementación del AMS, utilizando software especializado para

simulaciones sísmicas. Se analizaron parámetros dinámicos clave como desplazamientos, aceleraciones y fuerzas internas, bajo distintos escenarios de carga sísmica, con el fin de comparar el comportamiento estructural y cuantificar las mejoras obtenidas. Los resultados mostraron que la incorporación del AMS permite una reducción significativa de los desplazamientos y aceleraciones durante un evento sísmico, lo cual se traduce en una mayor seguridad para la edificación. Asimismo, se evidenció una disminución en las fuerzas internas en los elementos estructurales, lo que implica una menor demanda de resistencia y rigidez, y la posibilidad de optimizar el diseño estructural. Se concluye que el uso de amortiguadores de masa sintonizada es una estrategia efectiva para mitigar los efectos de los sismos en edificaciones altas, mejorando su comportamiento estructural y contribuyendo a un diseño sismorresistente más eficiente y seguro. Esta técnica representa una solución viable para proyectos ubicados en regiones con alta actividad sísmica.

Alvarado (2024), en su investigación *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio multifamiliar aislado en el Perú*, tuvo como objetivo evaluar el desempeño sísmico de un edificio multifamiliar de cinco niveles en el Perú, equipado con aislamiento sísmico, a fin de determinar su capacidad funcional ante eventos sísmicos severos. Para ello, se empleó un Análisis Dinámico Incremental (IDA), utilizando siete pares de registros sísmicos representativos. El estudio evaluó parámetros críticos como la aceleración pico del suelo (PGA), la deriva de entrepiso y las rotaciones inelásticas en elementos estructurales, especialmente en vigas y columnas. La evaluación se realizó siguiendo los lineamientos establecidos por Hazus-MH-MR4 y ASCE 41-13, estándares reconocidos para estimar el nivel de daño estructural y el desempeño funcional de edificaciones. Entre los principales hallazgos, se determinó que ante un sismo con un período de retorno de 2,500 años (PGA de 0.675g), las rotaciones plásticas alcanzaron el 48% en vigas y 39% en columnas del límite para ocupación inmediata según ASCE 41-13. Asimismo, la relación daño-deriva estimada con Hazus-MH-MR4 indicó derivas del orden de 5.8%, superando el umbral de daño leve. Se concluye que existe una discrepancia entre ambos métodos de evaluación: mientras ASCE 41-13 considera el aislamiento, Hazus-MH-MR4 se basa en edificaciones con base fija. Esta diferencia evidencia la necesidad de adaptar los criterios de daño para estructuras con aislamiento sísmico, a fin de lograr diagnósticos más precisos en contextos de alta sismicidad.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Enfoque sismorresistente convencional

Cuando se desarrolla un análisis tradicional sismorresistente, se ha acostumbrado a tener como fundamento que la capacidad de disipar energía la tiene la propia estructura a razón de la ductilidad, resistencia y rigidez que muestra la estructura (Guevara & Torres, 2012).

Una estructura responde de manera elástica ante sismos de baja intensidad, mientras que frente a eventos sísmicos moderados o severos su comportamiento se torna inelástico. En este régimen, la disipación de energía se produce a través de deformaciones permanentes en los elementos estructurales. Sin embargo, cuando la deriva de entrepiso se incrementa, estas deformaciones se intensifican, generando un mayor nivel de daño tanto estructural como no estructural.

2.2.2 Amortiguamiento según normas

Se considera como porcentaje de amortiguamiento al 5% para diversas normas, ello a razón de la evaluación de los espectros de respuesta frente a una vibración excitada. Se adjunta normativa estudiada que respalda el uso del 5%.

Tabla 2

Porcentaje de amortiguamiento según normas.

Código de Norma	Origen	% de Amortiguamiento aceptable
E.030	Reglamento Nacional de edificaciones – Perú	5%
NEC-11	Norma Ecuatoriana	5%
NCH 433	Norma Chilena	5%
1998	Código Europeo	5%
FEMA 303	NEHRP Recommended provisions for regulations for new buildings and other structures	5%
FEMA 273	NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings	5%

2.2.3 Sistemas de amortiguamiento viscoso

a. Oscilaciones forzadas en sistemas no amortiguados

La forma matemática de una fuerza armónica se expresa como: $p(t) = p_0 \times \sin \omega t$ o $p(t) = \cos \omega t$. Donde:

P_0 : amplitud o valor máximo de fuerza

ω : Frecuencia de aplicación de la carga oscilante

$T=2\pi/\omega$: periodo de excitación o periodo de forzamiento

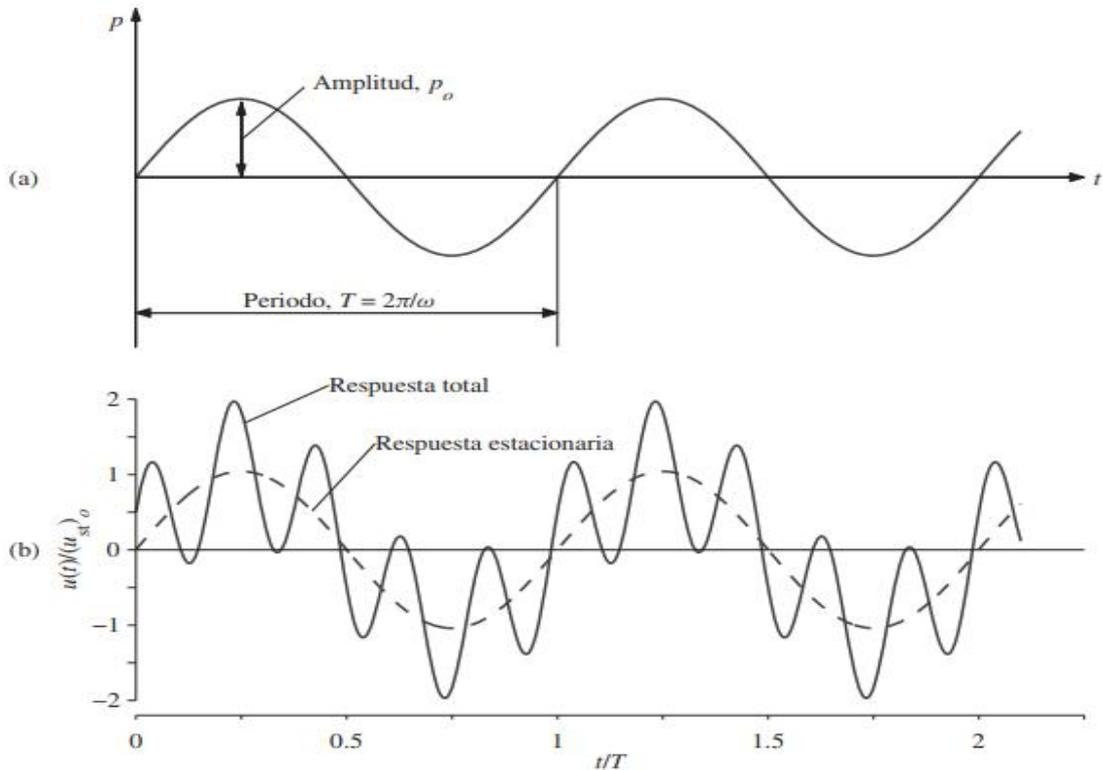
Se mostrará con minuciosidad la respuesta de los sistemas que tienen 1GDL a razón de una fuerza sinusoidal y cosenoidal.

En el caso de sistemas sin amortiguamiento, el comportamiento dinámico se describe mediante la ecuación diferencial: $m\ddot{u} + ku = p_0 \sin \omega t$, la cual será resuelta para determinar la función de desplazamiento $u(t)$, considerando como condiciones iniciales el desplazamiento inicial: $u=u(0)$, donde u simboliza los desplazamientos y la velocidad en el momento en el que se aplica la fuerza, siendo su solución la siguiente ecuación $u_p(t) = \frac{P_0}{k} \times \frac{1}{1-(\frac{\omega}{\omega_n})^2} \times \sin \omega t$, siendo $\omega \neq \omega_n$, a esta ecuación le complementa: $u_c(t) = A \cos \omega_n t + B \sin \omega_n t$, todos ellos hacen que la ecuación completa sea:

$$u(t) = \underbrace{u(0) \cos \omega_n t + \left[\frac{\dot{u}(0)}{\omega_n} - \frac{P_0}{k} \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \right] \sin \omega_n t}_{\text{transitorio}} + \underbrace{\frac{P_0}{k} \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \sin \omega t}_{\text{estado estacionario}}$$

Figura 2

a) Aplicación de una fuerza oscilatoria periódica, b) Comportamiento dinámico de un sistema sin amortiguamiento sometido a una excitación armónica; $\omega/\omega_n=0.2$, $u(0)=0.5p_0/k$, y $\dot{u}(0)=\omega_n P_0/k$.



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014)

Al realizar un análisis dinámico en régimen estacionario, una oscilación sinusoidal inducida por una frecuencia de excitación puede representarse mediante la siguiente expresión matemática:

$$u(t) = (ust)_o \left[\frac{1}{1 - (\frac{w}{wn})^2} \right] \sin wt$$

Si se hace caso omiso a la aceleración, se tiene una deformación estática en cada instante, tal como la ecuación lo demuestra:

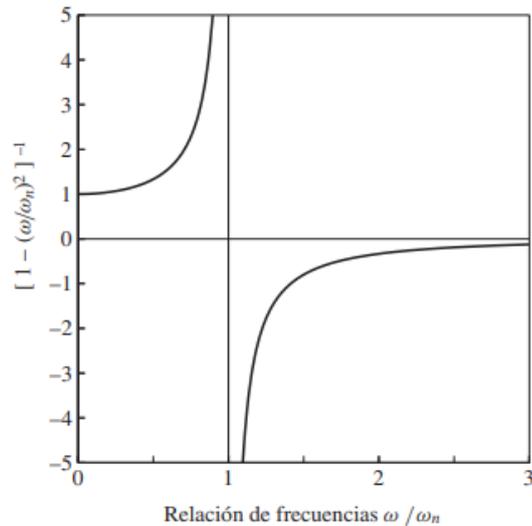
$$Ust(t) = \frac{Po}{k} \sin wt$$

Determinándose el valor máximo de la deformación estática como:

$$(ust)_o = \frac{Po}{k}$$

Figura 3

Deformación estática.

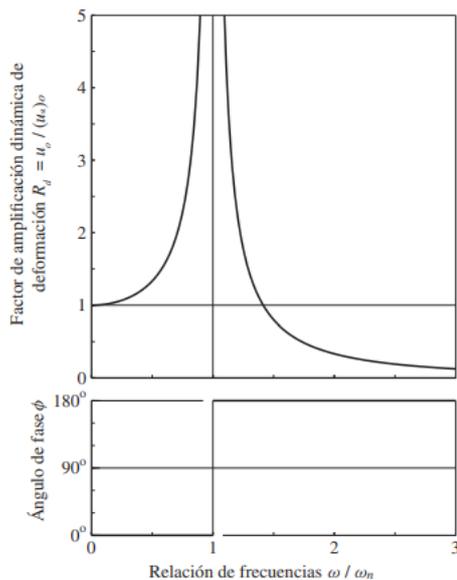


Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014)

Para $w < \omega_n$, $\phi = 0^\circ$, implica que el desplazamiento varía con $\text{sen}wt$, en la fase en la que se aplica la fuerza, Para $w > \omega_n$, $\phi = 180^\circ$, indica que el desplazamiento varía con $-\text{sen}wt$, estando fuera de la fase en relación con la fuerza. El ángulo de fase se aprecia en la siguiente figura:

Figura 4

Relación de amplificación de respuesta y fase en un sistema sin amortiguamiento bajo carga oscilante periódica.



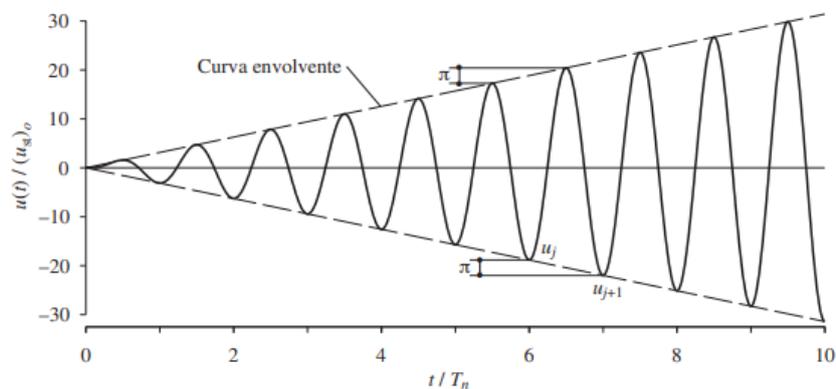
Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014)

El factor de amplificación dinámica del desplazamiento, R_d , se define como la relación entre la amplitud máxima de la respuesta dinámica u_o y la deformación estática correspondiente (u_{st})o. (Chopra, 2014, p. 70). Por otro lado, la frecuencia de resonancia se caracteriza como aquella frecuencia de excitación en la que el factor de amplificación dinámica del desplazamiento (R_d) alcanza su valor máximo (Chopra, 2014, p. 70).

Las ecuaciones para R_d generan la siguiente figura:

Figura 5

Comportamiento dinámico de un sistema sin amortiguamiento sometido a una excitación sinusoidal de frecuencia definida.



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014)

b. Vibración armónica con amortiguamiento viscoso

- **Amortiguamiento**

El amortiguamiento en una estructura es aquella que absorbe una gran parte de la energía que hace que el desplazamiento se considere tolerable (Pin, 2018).

- **Respuesta en estado estacionario y transitorias**

Al incorporar un amortiguamiento de tipo viscoso, se obtiene la ecuación diferencial que gobierna la respuesta dinámica de sistemas con un grado de libertad (1GDL) sometidos a fuerzas armónicas, expresada como:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p_o \sin wt$$

Esta ecuación se soluciona sometiendo a condiciones iniciales ($u=u(o)$), la solución se da con:

$$u_p(t) = C \sin wt + D \cos wt$$

Donde:

$$C = \frac{P_0}{k} x \frac{1 - (w/w_n)^2}{\left[1 - \left(\frac{w}{w_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta\left(\frac{w}{w_n}\right)\right]^2}$$

$$D = \frac{P_0}{k} x \frac{-2\zeta \frac{w}{w_n}}{\left[1 - \left(\frac{w}{w_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta\left(\frac{w}{w_n}\right)\right]^2}$$

Considerándose una vibración libre, se genera la siguiente ecuación:

$$u_c(t) = e^{-\zeta w_n t} (A \cos w_D t + B \sin w_D t)$$

Donde: $w_D = w_n \sqrt{1 - \zeta^2}$

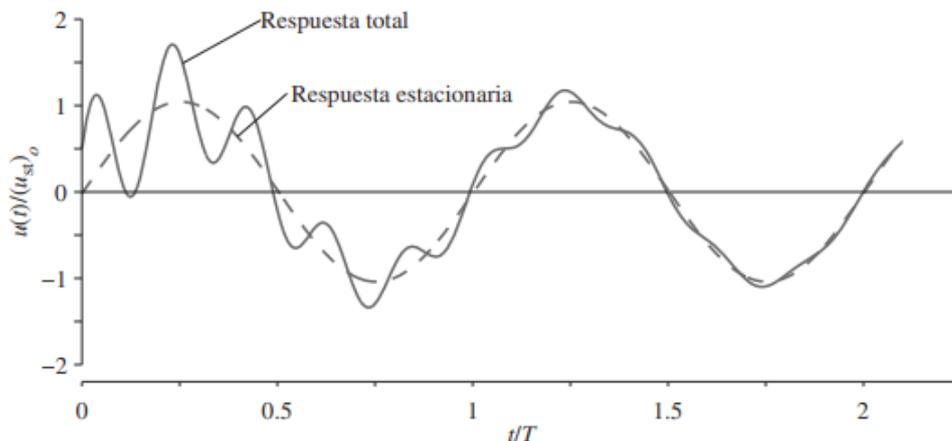
Siendo la solución completa:

$$u(t) = \underbrace{e^{-\zeta \omega_n t} (A \cos \omega_D t + B \sin \omega_D t)}_{\text{transitoria}} + \underbrace{C \sin \omega t + D \cos \omega t}_{\text{estacionaria}}$$

Todo ello permite generar la evaluación de una estructura amortiguada antes una fuerza armónica.

Figura 6

Respuesta de un sistema amortiguado ante una fuerza armónica; $w/w_n=0.2$, $\zeta=0.05$, $u(0)=0.5p_0/k$, y $\dot{u}(0)=w_n p_0/k$



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014)

- **Respuesta para $w=wn$**

Resulta fundamental analizar el papel del amortiguamiento tanto en la velocidad con la que el sistema alcanza el régimen estacionario como en la atenuación de la amplitud de respuesta cuando la frecuencia de excitación coincide con la frecuencia natural. Bajo estas condiciones, se obtiene la siguiente expresión matemática:

$$u(t) = (ust)o \frac{1}{2\zeta} \left[e^{-\zeta wnt} \left(\cos wDt + \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \sin wDt \right) - \cos wnt \right]$$

Al compararse con un sistema no amortiguado, se evidencia que la presencia de amortiguamiento atenúa progresivamente los picos de respuesta y limita la amplitud máxima hacia un valor estable definido en:

$$u_o = \frac{(ust)o}{2\zeta}$$

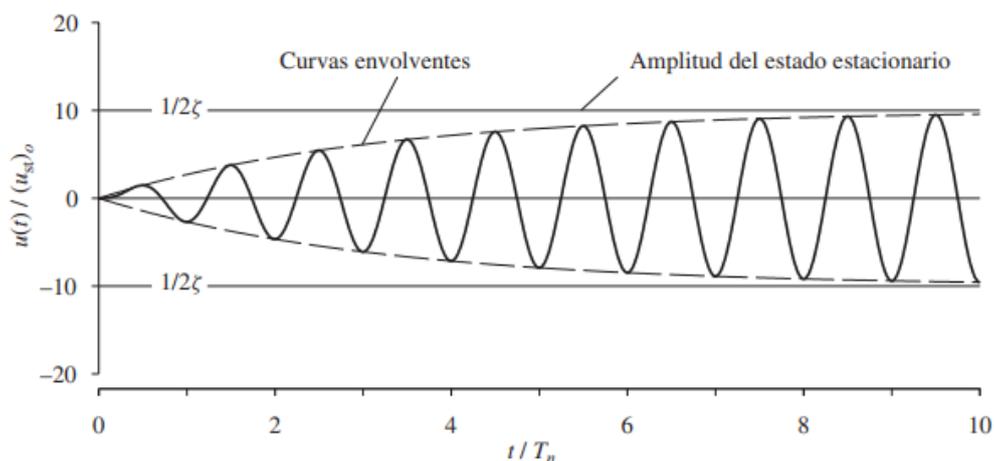
Para sistemas con bajo nivel de amortiguamiento, se obtiene un término sinusoidal en la expresión de la respuesta, representado por:

$$u(t) \approx (ust)o \frac{1}{2\zeta} (e^{-\zeta wt} - 1) \cos wnt \text{ (función envolvente), donde } wD \approx wn$$

Esto provoca que la deformación evolucione en el tiempo siguiendo una función cosenoidal, donde la amplitud crece gradualmente bajo el efecto de una envolvente. Este comportamiento se ilustra en las figuras siguientes.

Figura 7

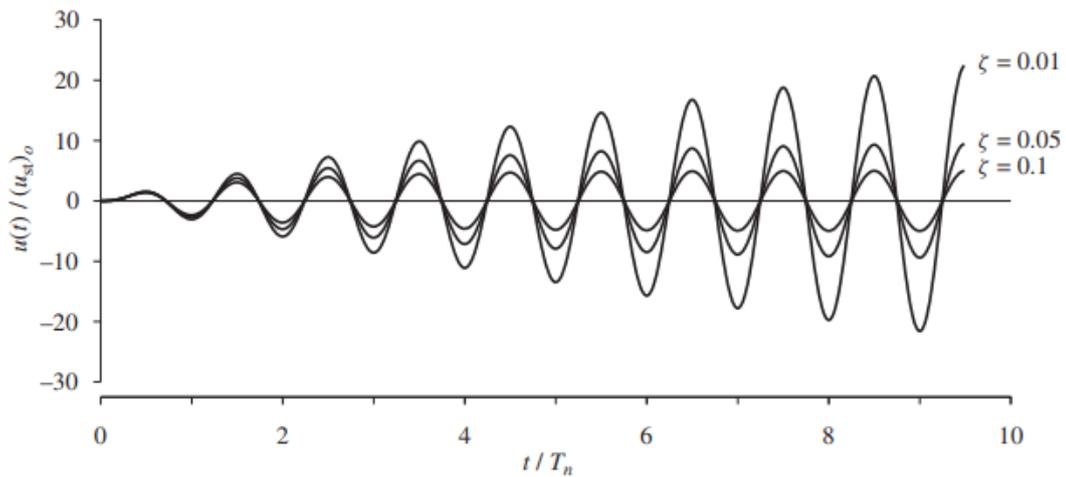
Respuesta de un sistema con amortiguamiento $\zeta = 0.05$, sometido a una excitación sinusoidal con frecuencia igual a la natural y condiciones iniciales nulas



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014)

Figura 8

Respuesta de tres sistemas con amortiguamientos $\zeta = 0.01, 0.05$ y 0.1 frente a una excitación sinusoidal resonante, bajo condiciones iniciales nulas.



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014)

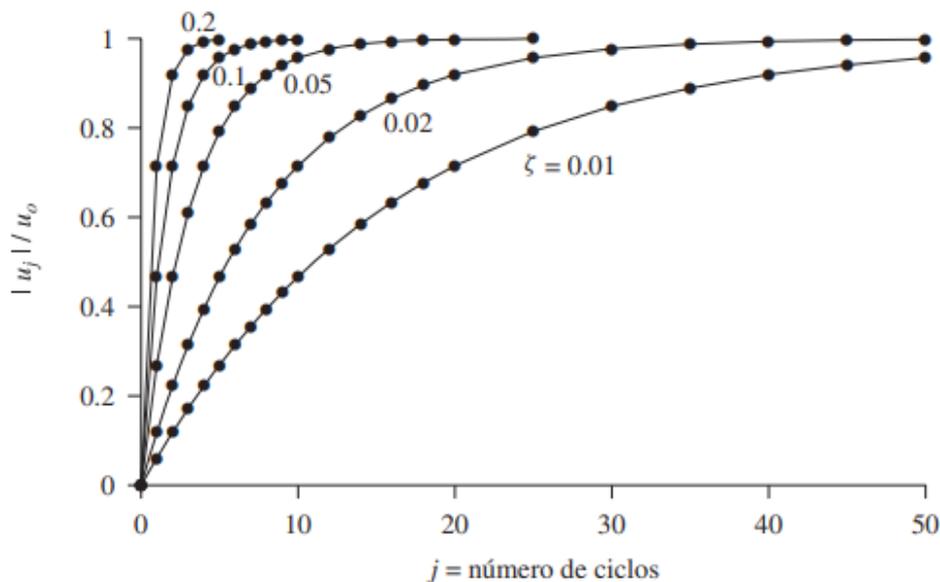
Para observar la transición hacia el estado estacionario, se analiza el valor del pico u_j ciclos de vibración, lo que conduce a la siguiente expresión:

$$\frac{|u_j|}{u_0} = 1 - e^{-2\pi\zeta j}$$

Ante una evaluación de $\zeta=0.01, 0.02, 0.05, 0.1$ y 0.2 se genera la evaluación siguiente:

Figura 9

Variación de la amplitud de la respuesta de acuerdo con el número de ciclos de una fuerza armónica con frecuencia $w=wn$



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

- **Amplitud máxima de respuesta y desfase angular**

En régimen estacionario, la deformación inducida por una fuerza armónica se describe mediante la siguiente expresión matemática:

$$u(t) = u_o \sin(\omega t - \phi) = (ust)oRd \sin(\omega t - \phi)$$

Donde la amplitud de respuesta $u_o = \sqrt{C^2 + D^2}$ Y $\phi = \tan^{-1}(-\frac{D}{C})$, sustituyendo C y D se obtiene el factor de amplificación dinámica de deformación:

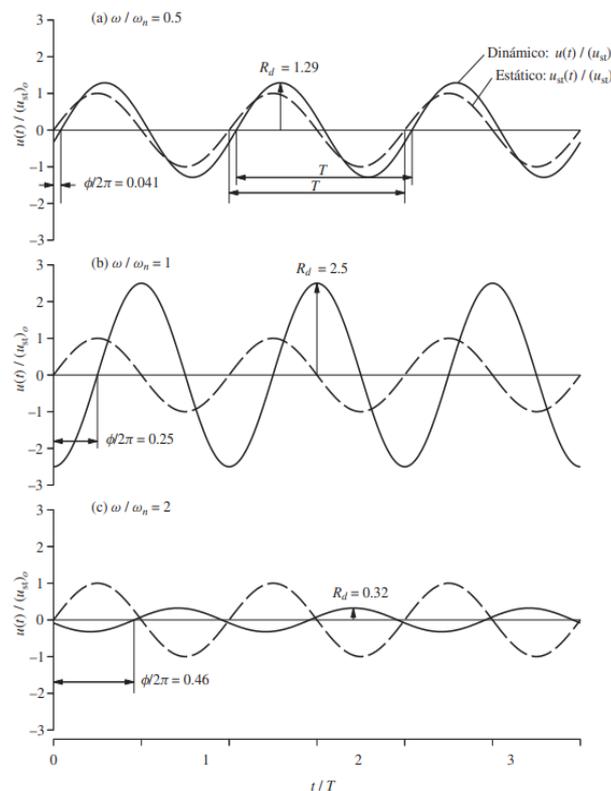
$$Rd = \frac{u_o}{(ust)o} = \frac{1}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + [2\zeta(\omega/\omega_n)]^2}}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{2\zeta\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1 - (\omega/\omega_n)^2}$$

Dichas ecuaciones pueden representarse en la siguiente figura:

Figura 10

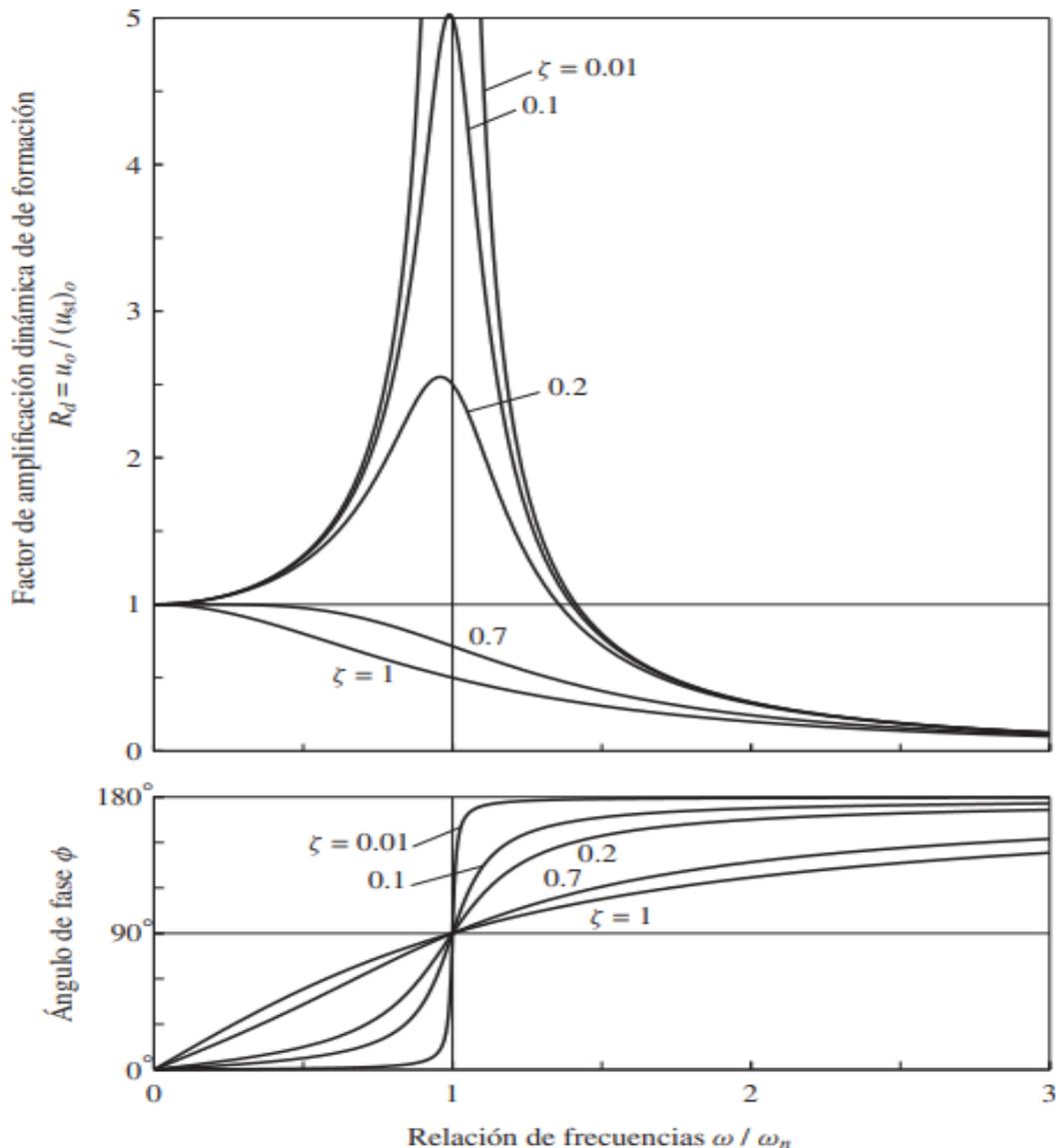
Respuesta estacionaria de los sistemas amortiguados ($\zeta = 0.2$) ante una fuerza sinusoidal para tres valores de la relación de frecuencia: (a) $\omega/\omega_n = 0.5$, (b) $\omega/\omega_n = 1$, (c) $\omega/\omega_n = 2$



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

Figura 11

Factor de amplificación del desplazamiento y desfase angular en un sistema con amortiguamiento sometido a excitación armónica.



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

La efectividad de la reducción de respuesta está condicionada por la frecuencia de excitación, motivo por el cual se evalúa en tres rangos característicos del dominio frecuencia-excitación.

Caso 1: Cuando la relación $\frac{\omega}{\omega_n} \ll 1$, el factor de amplificación dinámica R_d es ligeramente mayor que uno y prácticamente no depende del amortiguamiento. En este escenario, la respuesta dinámica se aproxima a la deformación estática, $\frac{\omega}{\omega_n} \ll 1$, lo que implica que la rigidez del sistema domina el comportamiento de la estructura. (16 pág. 79).

Caso 2: Cuando la relación $\frac{w}{wn} \gg 1$, el factor de amplificación dinámica R_d tiende a cero conforme la frecuencia de excitación se incrementa, siendo prácticamente independiente del amortiguamiento. En este régimen, la respuesta se aproxima a: $u_o \approx (ust)_o \frac{wn^2}{w^2} = \frac{P_o}{mw^2}$, lo que indica que el comportamiento del sistema está gobernado predominantemente por su masa. (Chopra, 2014, p. 79).

Caso 3: Cuando la relación $\frac{w}{wn} \approx 1$, el sistema entra en resonancia y el factor de amplificación dinámica R_d se vuelve altamente sensible al nivel de amortiguamiento. Incluso con valores pequeños de $w=wn$ puede superar considerablemente la unidad, lo que significa que la amplitud de la respuesta dinámica excede a la deformación estática. En la condición resonante $u_o = \frac{(ust)_o}{2\zeta} = \frac{P_o}{cwn}$, lo cual indica que la magnitud de la respuesta está directamente regulada por el nivel de amortiguamiento del sistema. (Chopra, 2014, p. 79).

El ángulo de fase ϕ representa el desfase temporal entre la excitación externa y la respuesta del sistema, y su valor depende directamente de la relación entre la frecuencia de excitación w/wn y la frecuencia natural. Para los tres casos analizados anteriormente, el comportamiento del ángulo de fase en función de dicha relación se resume del siguiente modo:

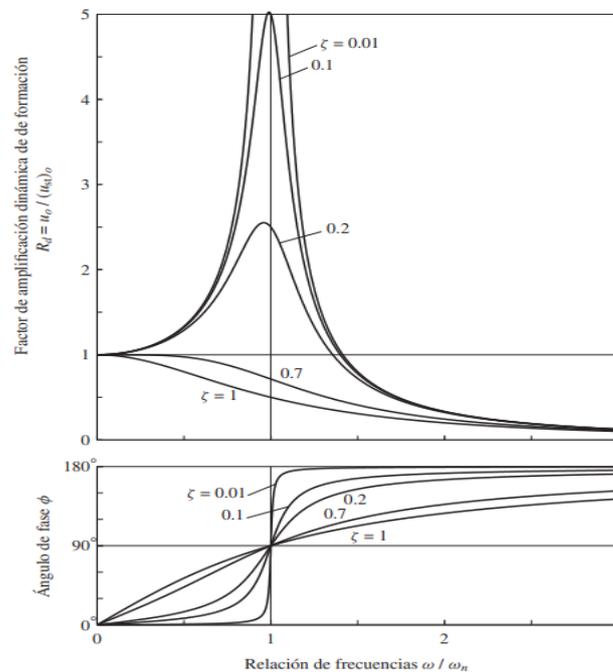
Caso 1: Cuando la relación $\frac{w}{wn} \ll 1$, el ángulo de fase se aproxima a 0° , lo que indica que la respuesta del sistema (desplazamiento) está prácticamente en fase con la fuerza excitadora.

Caso 2: Cuando la relación $\frac{w}{wn} \gg 1$, el ángulo de fase tiende a 180° , lo que significa que el desplazamiento del sistema se encuentra prácticamente en contrafase con respecto a la fuerza aplicada.

Caso 3: Cuando $\frac{w}{wn} \approx 1$, el ángulo de fase es de 90° independientemente del valor de ζ (zeta). En esta condición, la respuesta del sistema alcanza sus valores máximos de desplazamiento justo cuando la fuerza excitadora cruza por cero, reflejando un desfase de un cuarto de ciclo.

Figura 12

Factores de respuesta de desplazamiento y desfase angular en un sistema amortiguado sometido a excitación armónica



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

- **Factores de amplificación dinámica**

En estado estacionario, el desplazamiento del sistema se expresa como $\frac{u(t)}{P_0/k} = R_d \sin(\omega t - \phi)$, donde el factor de amplificación dinámica del desplazamiento (R_d) representa la razón entre la amplitud de la respuesta dinámica ($u(t)$) y la deformación estática

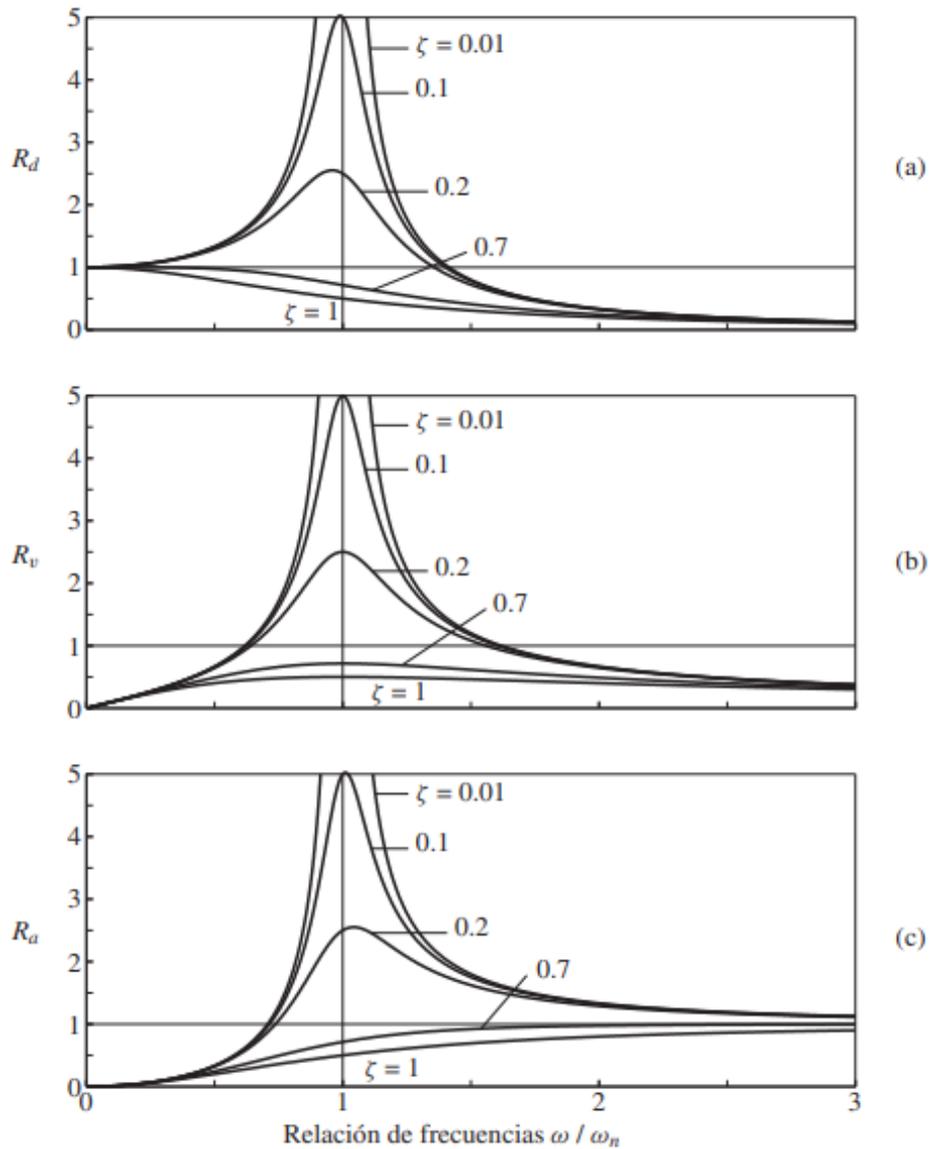
La velocidad se obtiene a partir de la derivada temporal del desplazamiento, resultando en: $\frac{\dot{u}(t)}{P_0/\sqrt{km}} = R_v \cos(\omega t - \phi)$, donde: $R_v = \frac{\omega}{\omega_n} R_d$ al reemplazarla en la ecuación anterior se

obtiene: $\frac{\dot{u}(t)}{P_0/\sqrt{km}} = -R_a \sin(\omega t - \phi)$, en este último el factor de amplificación dinámica de

aceleración (R_a) se relaciona con R_d mediante: $R_a = \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 R_d$, ello se puede apreciar en la siguiente figura:

Figura 13

Comportamiento dinámico de sistemas amortiguados: respuesta en desplazamiento, velocidad y aceleración ante cargas armónicas

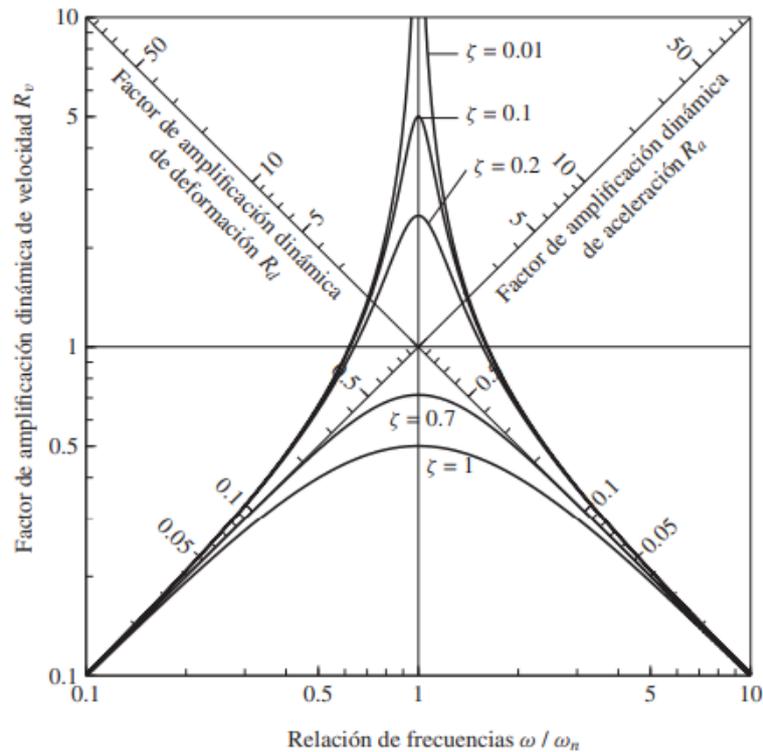


Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

Las correlaciones entre los factores de amplificación dinámica: $\frac{R_a}{w/\omega_n} = R_v = \frac{w}{\omega_n} R_d$, permiten evidenciar los tres factores en una sola gráfica, tal como se aprecia a continuación:

Figura 14

Representación en escala tetra-logarítmica de los factores de amplificación dinámica de desplazamiento, velocidad y aceleración en un sistema amortiguado sometido a excitación armónica



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

• Condición de resonancia y su efecto en la respuesta dinámica

La frecuencia de resonancia se define como aquella frecuencia de excitación en la que la amplitud de la respuesta del sistema alcanza su valor máximo (Chopra, 2014, p. 82). Estas frecuencias pueden determinarse analíticamente al anular la primera derivada de los factores de respuesta R_d , R_v y R_a con respecto a la relación ω/ω_n . En el caso en que el coeficiente de amortiguamiento $\zeta < 1/\sqrt{2}$, se obtienen las siguientes frecuencias resonantes específicas:

- Frecuencia de resonancia para el desplazamiento: $\omega_n \sqrt{1 - 2\zeta^2}$
- Frecuencia de resonancia para la velocidad: ω_n
- Frecuencia resonante de la aceleración: $\frac{\omega_n}{\sqrt{1 - 2\zeta^2}}$

En el caso de un sistema no amortiguado, las tres frecuencias de resonancia — correspondientes al desplazamiento, velocidad y aceleración— coinciden con la frecuencia

natural ω_n del sistema. Para un sistema amortiguado con los valores máximos de los factores de amplificación dinámica en sus respectivas frecuencias resonantes, son los siguientes:

$$R_d = \frac{1}{2\zeta\sqrt{1-2\zeta^2}}$$

$$R_v = \frac{1}{2\zeta}$$

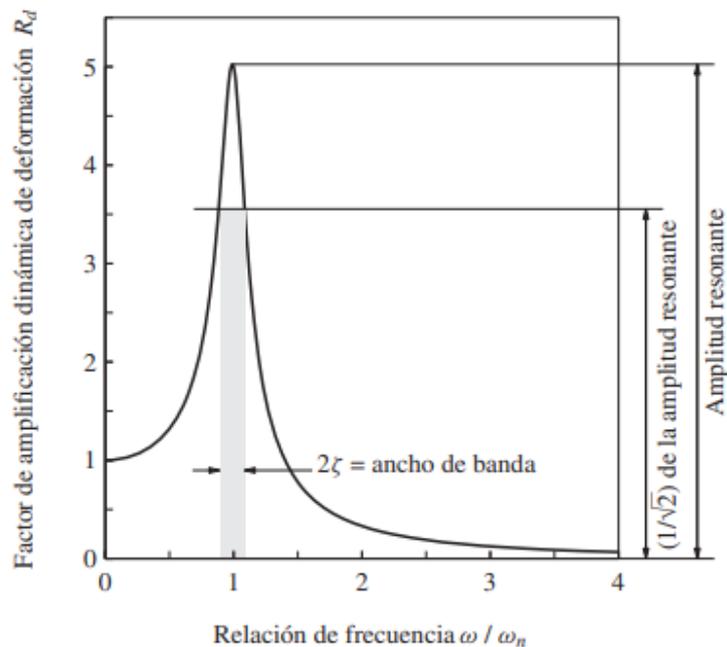
$$R_a = \frac{1}{2\zeta\sqrt{1-2\zeta^2}}$$

- **Ancho de banda**

Una característica destacada de la curva de respuesta en frecuencia del factor de amplificación dinámica R_d es el ancho de banda, el cual define el intervalo de frecuencias alrededor de la resonancia donde la respuesta se mantiene significativamente amplificada. Esta propiedad puede observarse en la figura adyacente.

Figura 15

Representación del ancho de banda



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

- **Comportamiento en régimen estacionario frente a una excitación cosenoidal**

La ecuación que se plantea es: $m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p_0 \cos wt$. Esta puede resolverse cuando las constantes C y D se expresan como:

$$C = \frac{P_0}{k} \frac{2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}$$

$$D = \frac{P_0}{k} \frac{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\zeta \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)\right]^2}$$

La respuesta estacionaria dada con anterioridad puede expresarse como:

$$u(t) = u_0 \cos(\omega t - \phi) = (u_0 \cos \phi) \cos \omega t + (u_0 \sin \phi) \sin \omega t$$

2.2.4 Aplicaciones prácticas de sistemas con amortiguamiento viscoso

a. Comportamiento estructural frente a una excitación inducida por generador de vibraciones

Un generador de vibración se utiliza como fuente de excitación armónica controlada, adecuada para verificar y analizar el comportamiento dinámico de estructuras a escala real (Chopra, 2014, p. 85).

- **Generación de vibración**

En un sistema con masas rotatorias, las componentes en la dirección xxx de las fuerzas de inercia se cancelan entre sí, mientras que las componentes restantes se combinan para generar una fuerza armónica descrita por la ecuación $p(t) = (m \cdot x \cdot \omega^2) \cdot \sin \omega t$. Cuando el generador de vibraciones se fija a la estructura, esta debe ser excitada dinámicamente, transmitiendo la fuerza generada. Dado que la amplitud de dicha fuerza es proporcional al cuadrado de la frecuencia de excitación ω , la capacidad de generar fuerzas significativas a frecuencias bajas es limitada, lo cual restringe su utilidad para inducir respuestas estáticas en estructuras (Chopra, 2014, p. 85).

- **Respuesta estructural**

Como ejemplo, la vibración puede generarse mediante un sistema con masas excéntricas que giran en sentido opuesto, configurando así una excitación armónica balanceada, tal como se ilustra en la figura.

Figura 16

Generador de vibración con peso excéntrico y giro en exposición.



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

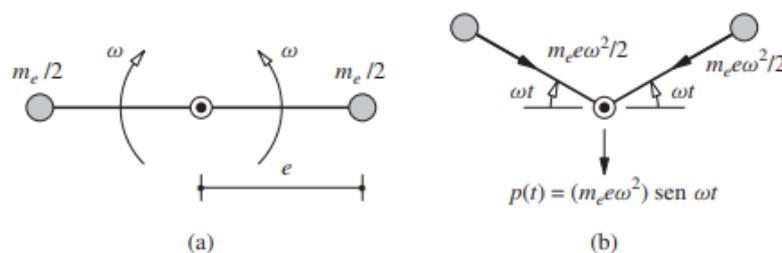
Esta configuración conduce a la formulación de la ecuación de movimiento: $m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = (m_e \cdot x \cdot e \cdot \omega^2) \sin \omega t$. En estado estacionario, la amplificación del desplazamiento y la aceleración para un sistema con un grado de libertad (1GDL) se determina a partir de los valores máximos obtenidos en las siguientes expresiones:

$$u_0 = \frac{m_e \times e}{k} \times \omega^2 \times R_d = \frac{m_e \times e}{m} \times \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 \times R_d$$

$$\ddot{u}_0 = \frac{m_e \times e}{k} \times \omega^2 \times R_a = \frac{m_e \times e \times \omega_n^2}{m} \times \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2 \times R_a$$

Figura 17

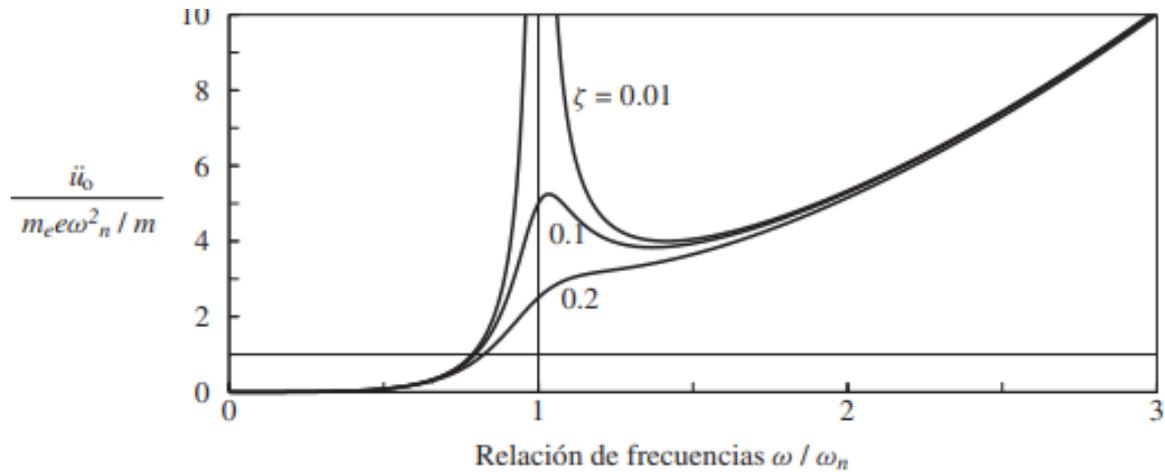
Generador de vibraciones: (a) configuración en posición inicial; (b) posición angular y fuerza generada en función del tiempo.



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

Figura 18

Determinación de la frecuencia natural y del amortiguamiento mediante ensayos de excitación armónica



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

b. Identificación de la frecuencia natural y del amortiguamiento mediante excitación armónica

La teoría de la vibración armónica forzada constituye una herramienta fundamental para identificar la frecuencia natural y el coeficiente de amortiguamiento de una estructura, a partir del análisis de su respuesta ante excitaciones controladas generadas artificialmente. La estimación experimental del amortiguamiento permite obtener información sobre características estructurales relevantes que no pueden ser determinadas únicamente a través del cálculo convencional. Los valores de frecuencia natural obtenidos mediante ensayos reflejan el comportamiento dinámico real de la estructura y pueden contrastarse con los resultados derivados de modelos idealizados basados en parámetros teóricos de rigidez y masa. Este tipo de evaluación contribuye al perfeccionamiento de los modelos estructurales, permitiendo una representación más precisa de las condiciones reales del sistema.

- **Ensayos de identificación mediante resonancia**

La formulación se deriva de la ecuación:
$$\zeta = \frac{1}{2} \frac{(ust)_o}{(uo)w=wn}$$

La fracción de amortiguamiento se estima a partir de los valores calculados experimentalmente de $(u_{st})_o$ y u_o en una frecuencia de excitación igual a la frecuencia natural del sistema.

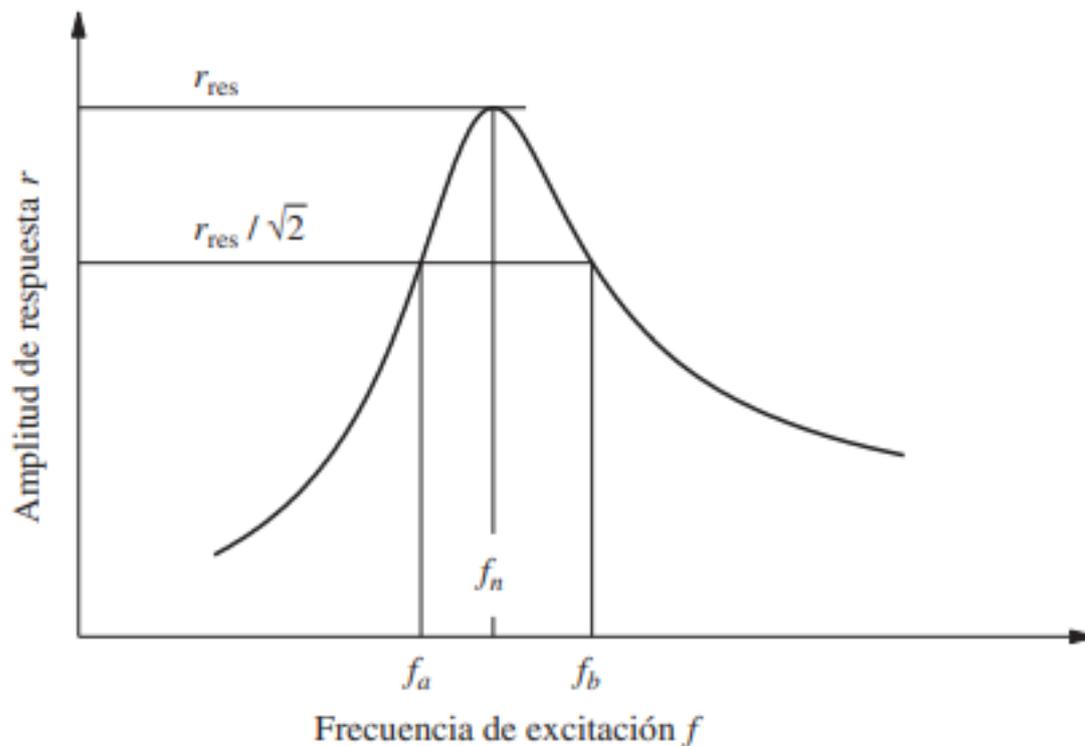
El valor de la fracción de amortiguamiento se determina experimentalmente a partir de la relación entre la deformación estática máxima $(u_{st})_o$ y la amplitud de la respuesta dinámica u_o , cuando la frecuencia de excitación coincide con la frecuencia natural del sistema.

- **Curva de respuesta en la frecuencia**

Debido a la dificultad de medir directamente la respuesta estática de una estructura mediante un generador de vibraciones, la identificación de su frecuencia natural y fracción de amortiguamiento se realiza comúnmente a través del registro experimental de curvas de respuesta dinámica. Este comportamiento característico puede ser representado gráficamente como se muestra en la figura siguiente.

Figura 19

Evaluación del amortiguamiento a partir de la curva de respuesta en la frecuencia.



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

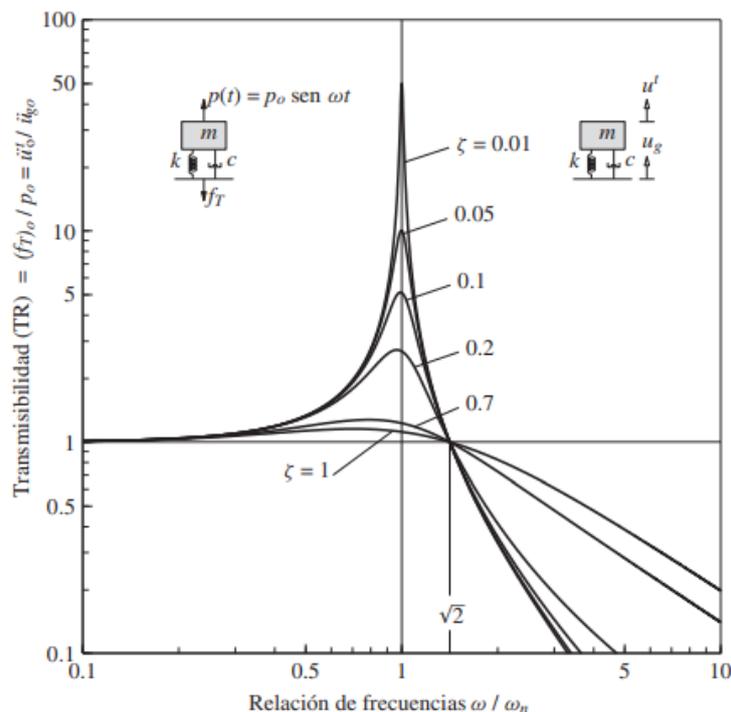
c. Transferencia dinámica de cargas y técnicas de aislamiento vibratorio

Al analizar un sistema masa-resorte-amortiguador, la fuerza que se transfiere a la base se define como la suma de las componentes elástica y de amortiguamiento, dada por: $f_r = f_s + f_D = ku(t) + c\dot{u}(t)$, reemplazando criterios tomando en consideración con anterioridad, la ecuación quedaría como: $f_T(t) = (ust)_o R d [k \sin(\omega t - \phi) + c \cos(\omega t - \phi)]$.

Siendo el máximo valor de $f_T(t)$ en t es: $(f_T)_o = (ust)_o R d \sqrt{k^2 + c^2 \omega^2}$, después de reemplazar a $(ust)_o = p_o/k$ y $\zeta = c/2m\omega_n$, puede expresarse como: $\frac{(f_T)_o}{P_o} = R d \sqrt{1 + \left(2\zeta \frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}$, si reemplazamos a Rd , la ecuación final quedaría $TR = \left\{ \frac{1 + [2\zeta(\omega/\omega_n)]^2}{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + [2\zeta(\omega/\omega_n)]^2} \right\}^2$, si el resorte fuera rígido $\omega_n = 3\alpha$ y $TR = 1$, haciendo que $(f_T)_o = P_o$.

Figura 20

Transmisibilidad bajo excitación armónica: la relación de transmisión para la fuerza aplicada y para el movimiento del terreno resulta ser equivalente en sistemas lineales.



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

d. Respuesta ante el movimiento del terreno y aislamiento de vibraciones

Se evaluará la respuesta dinámica de un sistema con un grado de libertad (1GDL) frente a una excitación armónica generada por el movimiento del terreno: $\ddot{u}_g(t) = \ddot{u}_g o \sin wt$. Al controlar la excitación se tiene la ecuación: $u(t) = \frac{-m\ddot{u}_g o}{k} R d \sin(wt - \phi)$. Al considerar la aceleración de masa como: $\ddot{u}^t(t) = \ddot{u}_g(t) + \ddot{u}(t)$, sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene la segunda derivada de la ecuación: $TR = \frac{\ddot{u}^t o}{\ddot{u}_g o} = \left\{ \frac{1 + [2\zeta(\frac{w}{wn})]^2}{[1 - (w/wn)^2]^2 + [2\zeta(w/wn)]^2} \right\}^{1/2}$. La relación entre la aceleración total transmitida a la masa $\ddot{u}^t o$ y la aceleración del suelo ($\ddot{u}^t o$) se conoce como transmisibilidad del sistema (TR). Cuando el movimiento del terreno se modela como: $u_g(t) = u_g o \sin wt$ la amplitud del desplazamiento total de la masa se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

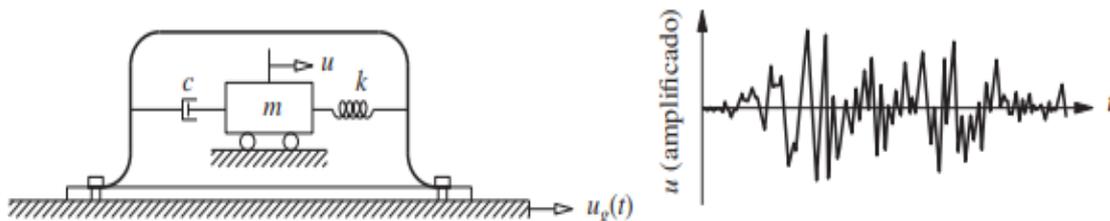
$$TR = \frac{u^t o}{u_g o} = \left\{ \frac{1 + [2\zeta(\frac{w}{wn})]^2}{[1 - (w/wn)^2]^2 + [2\zeta(w/wn)]^2} \right\}^{1/2}$$

2.2.5 Equipos y dispositivos para la medición de vibraciones estructurales

La medición de vibraciones es de particular relevancia en el ámbito de la ingeniería estructural, lo que exige el uso de instrumentos altamente especializados y precisos. Entre ellos, los transductores destacan por su diseño, basado en un sistema masa-resorte-amortiguador integrado dentro de un marco rígido, el cual se fija a la superficie cuya respuesta dinámica se desea registrar. El funcionamiento y disposición de este dispositivo se representa en el esquema siguiente:

Figura 21

Dibujo esquemático de un instrumento para medir vibraciones y registrar el movimiento



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

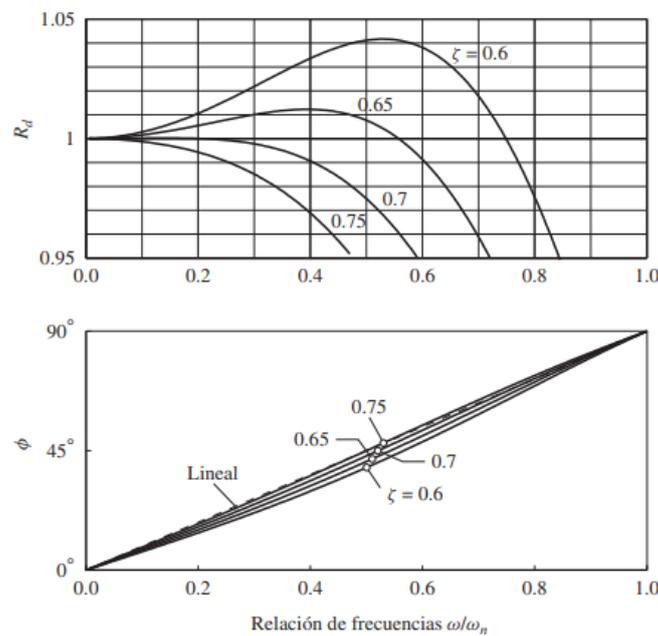
a. Medición de la aceleración

El procedimiento comienza con la evaluación de un movimiento armónico simple, el cual se describe mediante la siguiente expresión matemática $u(t) = -\left(\frac{1}{\omega_n^2} R_d\right) \ddot{u}g\left(t - \frac{\phi}{\omega}\right)$.

La función $u(t)$ representa la aceleración base del sistema, modificada por el factor $\frac{-R_d}{\omega_n^2}$, con un desfase ϕ/ω . Este comportamiento puede apreciarse en la siguiente figura:

Figura 22

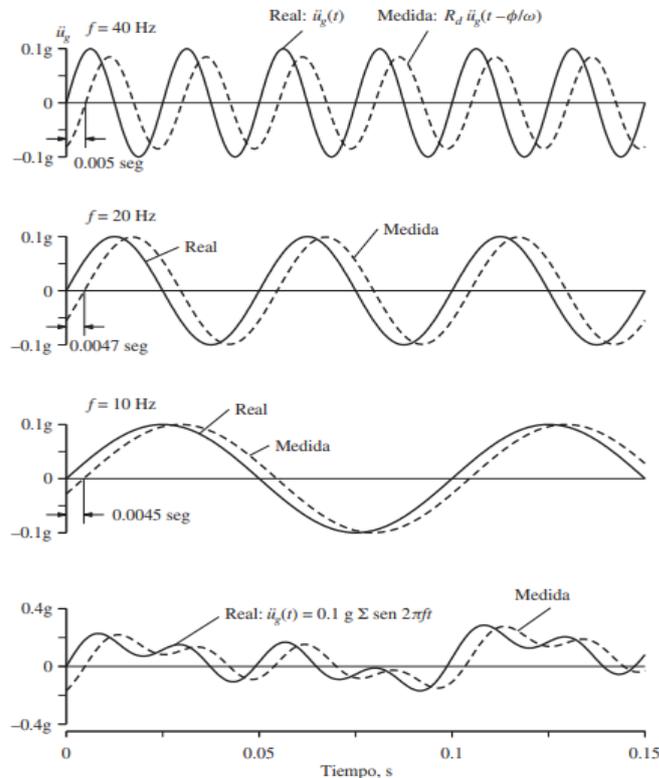
Variación de R_d y ϕ con la relación de frecuencia ω/ω_n para $\zeta=0.6, 0.65, 0.7$ y 0.75



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

Figura 23

Comparativa entre la aceleración real del terreno y la respuesta registrada por un instrumento con frecuencia natural $f_n=50$ Hz y $\zeta=0.7$



Nota. Tomada de Dinámica de Estructuras, por Chopra (2014).

b. Medición del desplazamiento

A fin de estudiar a mayor profundidad se considera un desplazamiento armónico del soporte como: $u_s(t) = u_{go} \sin wt$, con la función de excitación la ecuación se convierte en: $u(t) = R_a u_{go} \sin(wt - \phi)$. Y para frecuencias de excitación mayor se considera la ecuación: $u(t) = -u_{go} \sin wt$.

2.2.6 Consideraciones de diseño

a. Modelo para el análisis

El Reglamento Nacional de Edificaciones (SENCICO, 2020) a través de la norma E.030 “Diseño Sismorresistente” (2018), establece la adopción de un amortiguamiento viscoso equivalente con un valor máximo del 5% respecto al amortiguamiento crítico. Además, reconoce como mecanismo complementario de disipación de energía el comportamiento histerético de los elementos estructurales bajo carga cíclica.

b. Desplazamientos laterales relativos admisibles

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso se considera mediante la siguiente tabla.

Tabla 3

Límites para distorsión del entrepiso

Límites para la distorsión del entrepiso	
Material predominante	(Δ_i/h_{el})
Concreto armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Nota. Los valores límite de distorsión (deriva) para estructuras destinadas a uso industrial deben ser definidos por el proyectista estructural. Sin embargo, dichos límites no deben superar el doble de los valores establecidos en la presente tabla. Fuente: Norma Técnica Peruana E.030 – Diseño Sismorresistente, RNE(2018).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Método, tipo o alcance de la investigación

3.1.1 Método de investigación

La investigación científica se concibe como un conjunto de procesos que permiten la articulación entre teoría y práctica, facilitando el desarrollo de conocimiento aplicado (Silvestre & Huamán, 2019). De forma complementaria, Hernández et al. (2014) señalan que se trata de un procedimiento sistemático, empírico y crítico, orientado al estudio riguroso de un problema específico.

3.1.2 Tipo de investigación

La investigación aplicada se orienta hacia la resolución de problemas concretos, ya que su propósito es generar conocimientos útiles que permitan intervenir, transformar o mejorar situaciones en contextos reales (Carrasco, 2019, p. 43).

3.1.3 Nivel de investigación

La presente tesis usó un nivel explicativo ya que midió el efecto que tiene el porcentaje de amortiguamiento en el comportamiento sísmico de una edificación de 5 niveles.

3.1.4 Diseño de investigación

Según Silvestre y Huamán (2019) un diseño no experimental “no manipula a la variable independiente, no existe grupo experimental ni grupo control, en este caso el indagador solo estudia los hechos suscitados en la realidad” (p. 297).

A tesis empleó un diseño no experimental ya que no manipuló ninguna variable y solo vio los efectos que tiene el porcentaje de amortiguamiento en el comportamiento sísmico.

3.1.5 Población

Vara (2015) “la población se define como el grupo de individuos que comparten características comunes, se ubican en un mismo contexto espacial y pueden presentar variaciones a lo largo del tiempo” (p. 261).

La población estuvo conformada por todas las edificaciones de cinco niveles construidas en el distrito de El Tambo, las cuales presentan características estructurales similares relevantes para el análisis sísmico.

3.1.6 Muestra

La constituyo la edificación de 5 niveles ubicada en Av. Ferrocarril N°2610, El Tambo – Huancayo

El tipo de muestreo fue no probabilístico por conveniencia

3.2 Materiales y Métodos (aplicación de la ingeniería)

3.2.1 Técnica e instrumentos de recolección de datos

a. Técnicas de recolección de datos

Sánchez y Reyes (2015) afirman que, “las técnicas de recolección de datos son los medios que permiten recoger la data necesaria para representar el fenómeno en estudio teniendo como base los propósitos de la investigación” (p. 149).

Uno de los métodos más recurrentes para recolectar datos es la observación sistemática, esta consiste en “observar de forma organizada el evento en estudio empleando instrumentos como registros, fichas, etc.” (p. 150).

Para tal propósito, la presente tesis empleó la observación y el análisis de datos estructurales mediante el software ETABS y el programa Seismo Signal, los cuales permitieron simular y evaluar el comportamiento dinámico de la edificación bajo distintos niveles de amortiguamiento.

b. Instrumentos de recolección de datos

Las herramientas de recolección de datos han sido los registros de datos emitidos mediante el software Etabs y Seismo Signal.

3.2.2 Análisis de datos

Se utilizó los resultados de obtenidos por las pruebas con el apoyo de los programas computacionales, para determinar si existía una diferencia significativa entre grupos o tratamientos independientes con distribución normal para comparar las hipótesis de la investigación.

El proceso de recolección de datos se desarrolló en tres etapas secuenciales: la primera correspondió al análisis estructural estático de la edificación; la segunda, a la evaluación de su comportamiento sísmico mediante simulaciones dinámicas; y la tercera, a la obtención de resultados numéricos y gráficos representativos del desempeño estructural.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Presentación de resultados

4.1.1 Descripción del proyecto

El proyecto estudiado es una edificación de 5 pisos ubicado en el Distrito de El Tambo – Huancayo en la Avenida Ferrocarril N° 2610, con un área construida de 126.76 m². El cual consta de un departamento por piso.

La estructura de la edificación en el Eje X consta de una configuración estructural de albañilería y en el Eje Y tiene una configuración de pórticos.

Los pórticos que definen a la estructura constan de columnas rectangulares de secciones variables conectadas por vigas peraltadas de secciones VP (30x50 cm) y vigas chatas VCH (25x20cm), así mismo cuenta con placas de $e = 30$ cm y juntas sísmicas de $e = 5$ cm

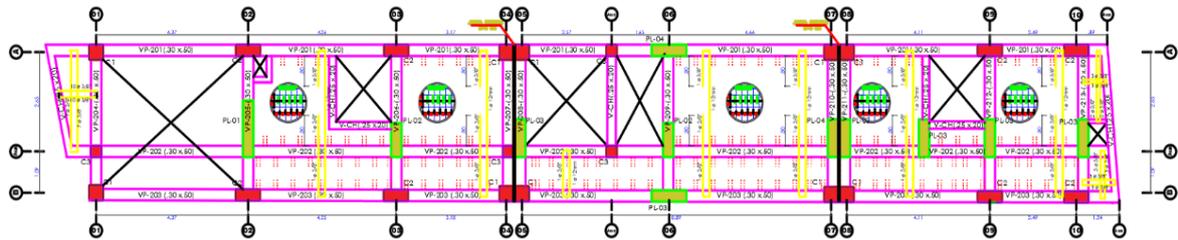
El terreno de cimentación en la zona de construcción presenta características de tipo gravoso-limoso, y su análisis se efectuó considerando los parámetros sismorresistentes establecidos por la Norma Técnica Peruana E.030 – Diseño Sismorresistente (versión 2018).

- Factor de Suelo $Z = 0.35$
- Factor de Uso $U = 1$
- Factor de Suelo $S = 1.2$
- Periodo de vibración $T_p = 0.53$
- Coeficientes de Reducción
 $R_x = 7$
 $R_y = 7$
- Coeficientes de Amplificación Sísmica
 $C_x = 2.5$
 $C_y = 2.5$
- Sistema Dual $R = 7$

- Sistema Muros Estructurales R = 6

Figura 24

Plano de estructuración de la edificación en estudio



a. Estructuración del proyecto

El proyecto está definido por 10 ejes en la dirección “X” (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10) y 2 ejes en la dirección “Y” (A, B).

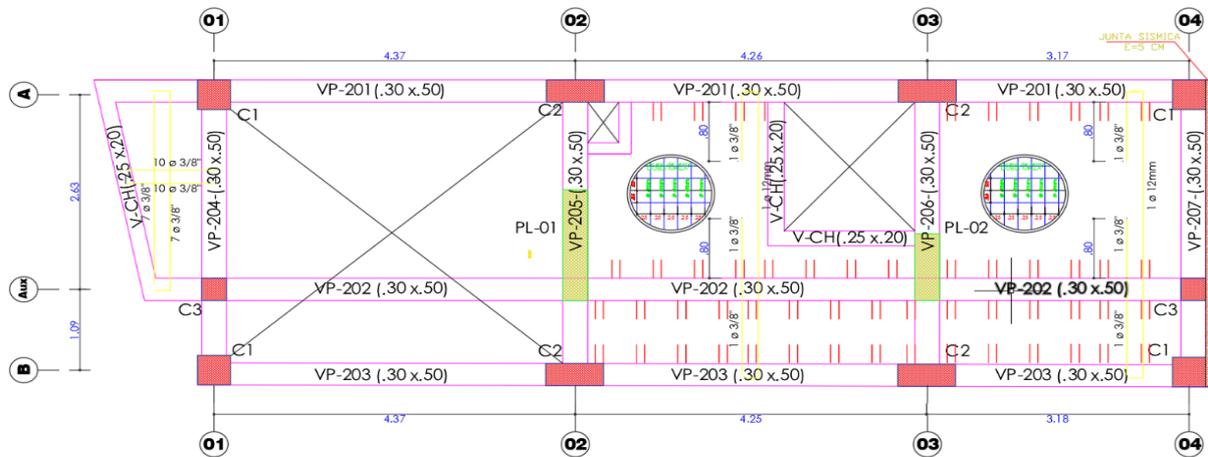
El sistema estructural que se utilizó en el eje X es de pórticos y en el eje Y de albañilería confinada, asimismo, cuenta con placas en este mismo eje.

Dentro del proyecto se dividió en 3 partes separadas por las juntas sísmicas de e=5 cm.

La primera parte cuenta con 4 ejes en dirección X (1,2,3,4) contando con 4 columnas C1 de 40x40 cm, 2 columnas C2 de 70x30 cm, Vigas principales de 30x50 cm, Viga chatas de 25x20 cm, placa (PL 01) 1.5x30 cm y placa (PL 02) 90x30 cm.

Figura 25

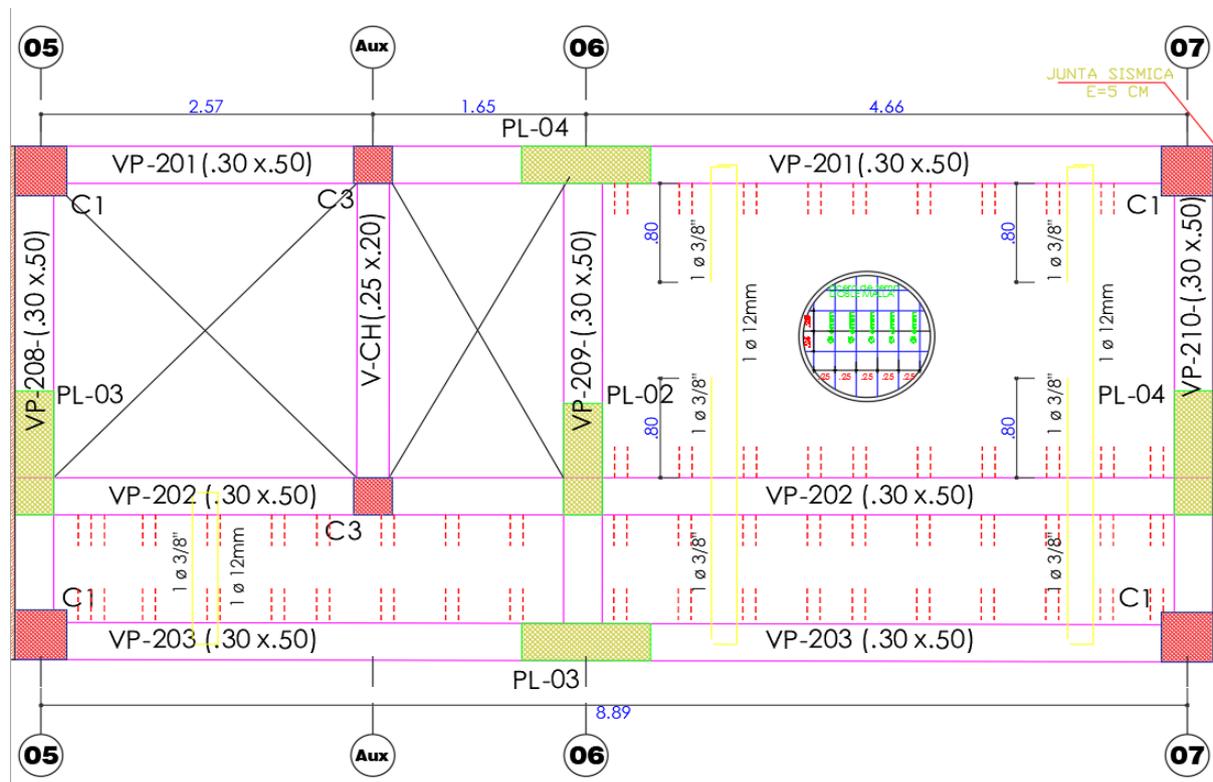
Superestructura 1



La segunda parte cuenta con 3 ejes en dirección X (5,6,7) y un eje auxiliar, asimismo, consta de 4 columnas de C1 40x40 cm, 2 columnas C3 de 30x30 cm, Vigas principales de 30x50 cm, Viga Chata de 25x20 cm, placa (PL 02) 90x30 cm, placa (PL 03) 1.00x30 cm, placa (PL 04) 1.00x30 cm.

Figura 26

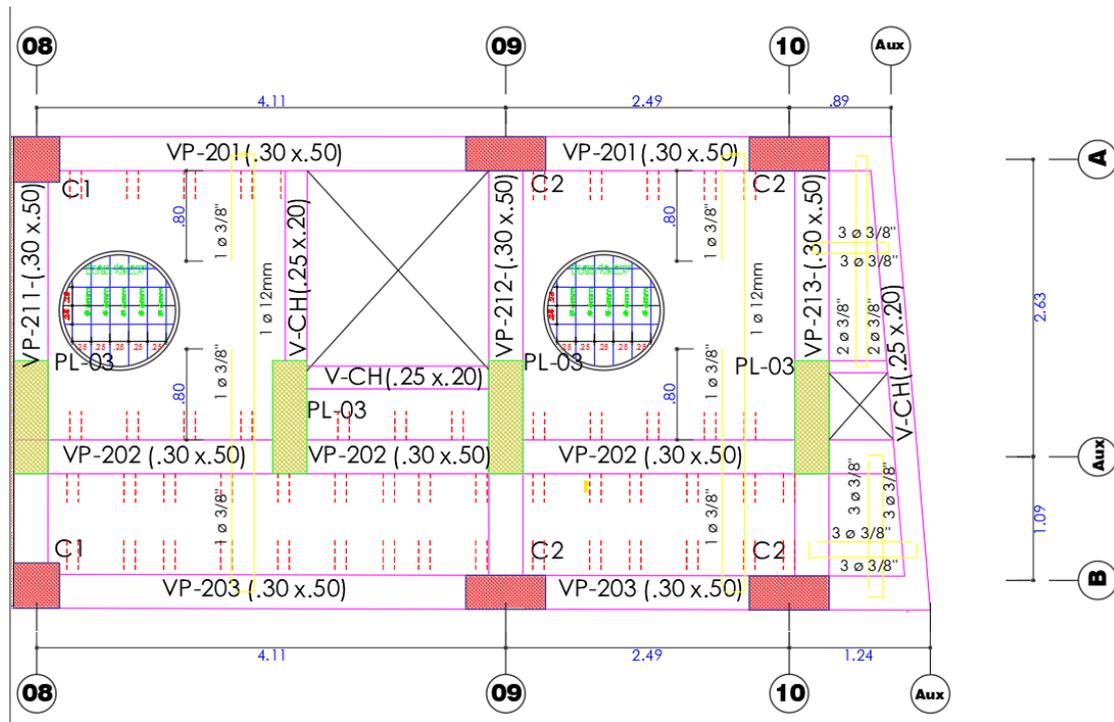
Superestructura 2



La tercera parte cuenta con 3 ejes en dirección X (8,9,10) y un eje auxiliar, asimismo, cuenta con 2 columnas C1 de 40x40 cm, 4 columnas C2 de 70x30 cm, Vigas principales de 30 x50 cm, Viga chata de 25 x 20 cm y 4 placas (PL 03) 1.00 x 30 cm.

Figura 27

Superestructura 3



b. Modelamiento de las superestructuras dentro del Programa ETABS

Figura 28

Superestructura 1 modelada en ETABS

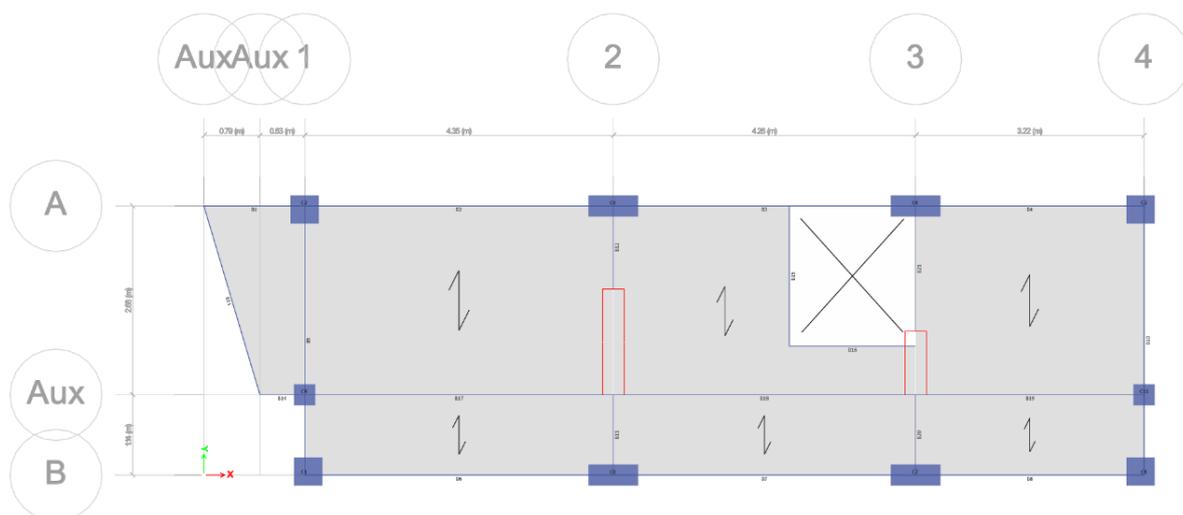


Figura 29

Superestructura 2 modelada en ETABS

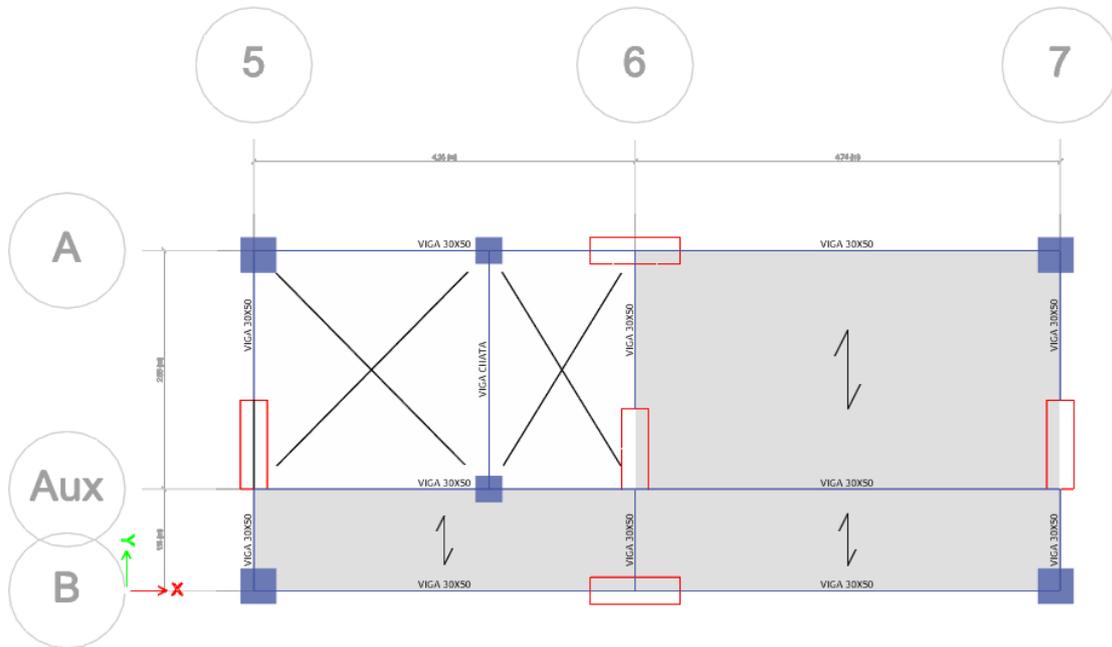
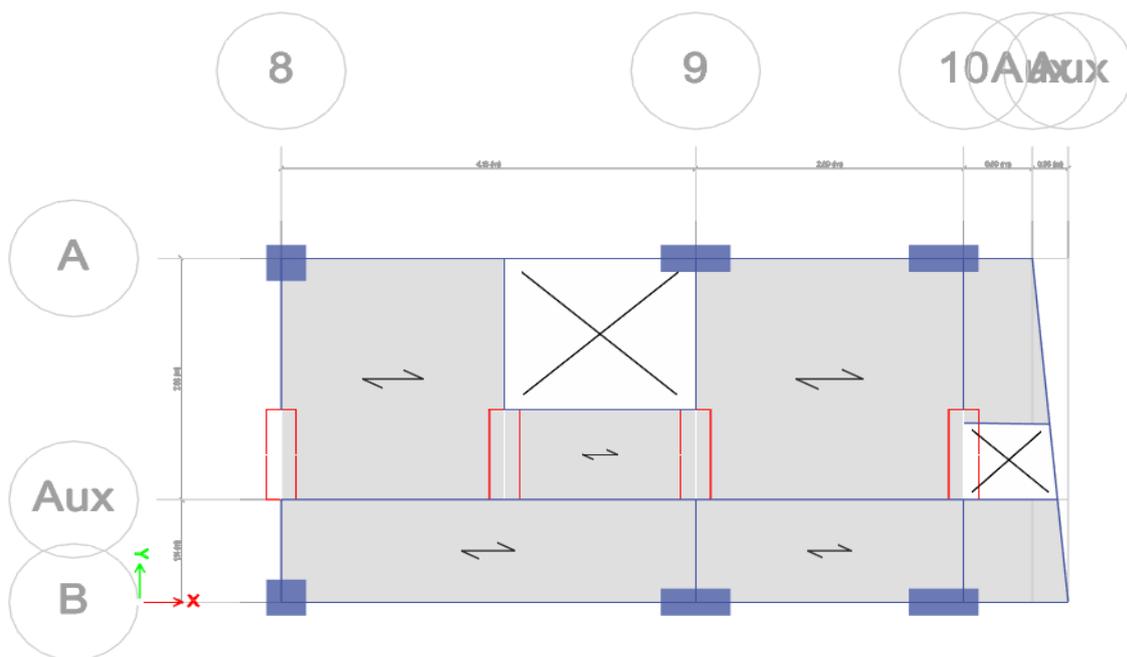


Figura 30

Superestructura 3 modelada en ETABS



4.1.2 Análisis modal – Análisis de los modos de vibración

Según Ewins (2000), el análisis modal se fundamenta en plantear la ecuación de movimiento del sistema, asumir una forma de respuesta estructural y verificar que dicha forma satisfaga la ecuación gobernante. Esto implica la resolución de un problema de autovalores y auto vectores, lo cual permite identificar las frecuencias naturales y los modos de vibración del sistema.

En este sentido, el análisis modal permite representar el comportamiento dinámico de una estructura a lo largo del tiempo, desde su posición inicial hasta su retorno al equilibrio. De acuerdo con lo estipulado en la Norma Técnica Peruana E.030 “Diseño Sismorresistente”, se requiere considerar un mínimo de tres modos de vibración por cada losa, los cuales deben acumular al menos el 90% de la masa total del sistema estructural, distribuidos en dos modos traslacionales y uno rotacional.

A continuación, se detallan los modos de vibración correspondientes a la Superestructura 1:

Figura 31

Superestructura 1 Modos de vibración

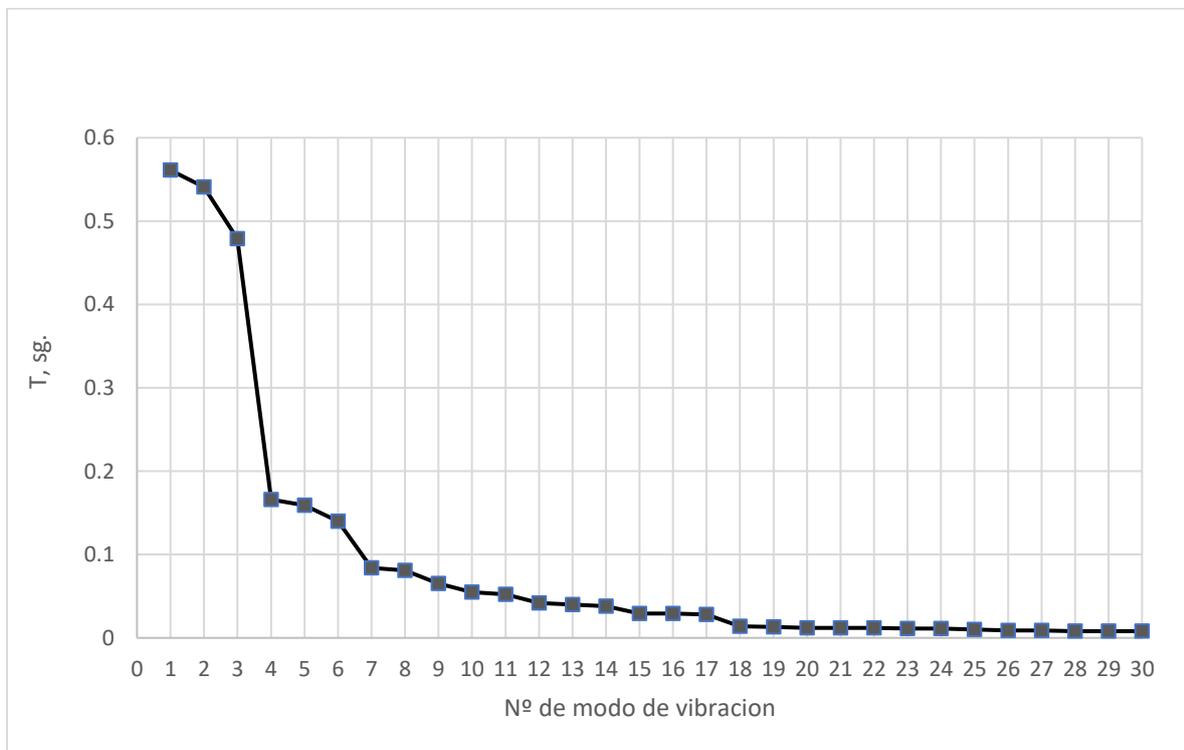


Tabla 4

Modos de vibración, períodos naturales y porcentajes de masa participativa en la Superestructura 1.

Mode	Period	UX	UY	RZ
	sec			
1	0.561	0.1363	0.0322	0.7731
2	0.541	0.8008	0.0071	0.1300
3	0.479	0.0001	0.8449	0.0434
4	0.166	0.0056	0.0046	0.0394
5	0.159	0.0405	0.0007	0.0049
6	0.14	0.0000	0.0866	0.0009
7	0.084	0.0010	0.0006	0.0044
8	0.081	0.0057	0.0001	0.0007
9	0.065	0.0000	0.0115	0.0000
10	0.055	0.0001	0.0002	0.0010
11	0.052	0.0017	0.0000	0.0000
12	0.042	0.0000	0.0000	0.0002
13	0.04	0.0000	0.0029	0.0000
14	0.038	0.0005	0.0000	0.0000
15	0.029	0.0008	0.0000	0.0000
16	0.029	0.0000	0.0005	0.0000
17	0.028	0.0030	0.0000	0.0000
18	0.014	0.0000	0.0000	0.0000
19	0.013	0.0000	0.0000	0.0000
20	0.012	0.0001	0.0000	0.0000
21	0.012	0.0001	0.0000	0.0000
22	0.012	0.0001	0.0000	0.0000
23	0.011	0.0000	0.0016	0.0009
24	0.011	0.0003	0.0000	0.0000
25	0.01	0.0005	0.0000	0.0000
26	0.009	0.0001	0.0000	0.0000
27	0.009	0.0004	0.0000	0.0000
28	0.008	0.0000	0.0000	0.0000
29	0.008	0.0000	0.0000	0.0000
30	0.008	<u>0.0001</u>	<u>0.0000</u>	<u>0.0000</u>
	Σ	1.0	1.0	1.0

Nota. Se muestra 30 modos de vibración con la finalidad de demostrar que la super estructura 1 posee la suficiente masa participativa exigida en E.030 del RNE (2018).

El modo 01 es de 0.561 sg. (modo rotacional) y captura el 77.31% de la masa en la dirección Z.

Por otra parte, el modo 02 es de 0.541 sg (modo traslacional). y captura el 80.08% de la masa en la dirección X.

Finalmente, el modo fundamental 03 es de 0.479 sg. (modo traslacional) y captura el 84.49% de la masa en la dirección Y.

Las sumatorias de las masas en las tres direcciones suman la unidad que representa el 100% de la masa de la super estructura 1.

Luego, para la Super estructura 2:

Figura 32

Superestructura 2 Modos de vibración

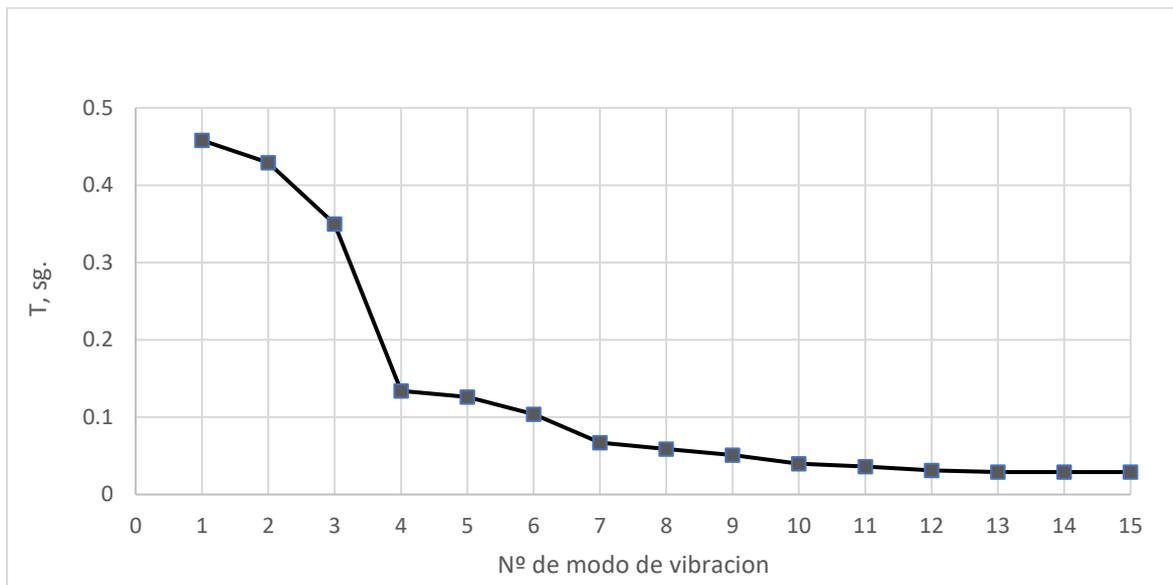


Tabla 5

Modos de vibración, períodos naturales y porcentajes de masa participativa en la Superestructura 2.

Mode	Period	UX	UY	RZ
	sec			
1	0.458	0.8874	0.0046	0.0017
2	0.429	0.0056	0.8417	0.0294
3	0.35	0.0007	0.0273	0.8603
4	0.134	0.0653	0.0005	0.0001
5	0.126	0.0004	0.0843	0.0025
6	0.104	0.0001	0.0032	0.0722
7	0.067	0.0131	0.0000	0.0000
8	0.059	0.0000	0.0111	0.0006
9	0.051	0.0000	0.0009	0.0111
10	0.04	0.0047	0.0000	0.0000

11	0.036	0.0000	0.0036	0.0002
12	0.031	0.0000	0.0005	0.0031
13	0.029	0.0038	0.0000	0.0000
14	0.029	0.0002	0.0000	0.0000
15	0.029	<u>0.0004</u>	<u>0.0000</u>	<u>0.0000</u>
Σ		1.0	1.0	1.0

Nota. Se muestra 15 modos de vibración con la finalidad de demostrar que la super estructura 2 posee la suficiente masa participativa exigida en E.030 del RNE (2018).

El modo fundamental 01 es de 0.458 sg. (modo traslacional) y captura el 88.74% de la masa en la dirección X.

Luego, el modo 02 es de 0.429 sg. (modo traslacional) y captura el 84.17% de la masa en la dirección Y.

Finalmente, el modo 03 es de 0.35 sg. (modo rotacional) y captura el 86.03% de la masa en la dirección Z.

De la tabla N° 05 se demuestra que las sumatorias de las masas en las tres direcciones suman la unidad que representa el 100% de la masa de la super estructura 2.

Finalmente, para la Super estructura 3:

Figura 33

Superestructura 3 Modos de vibración

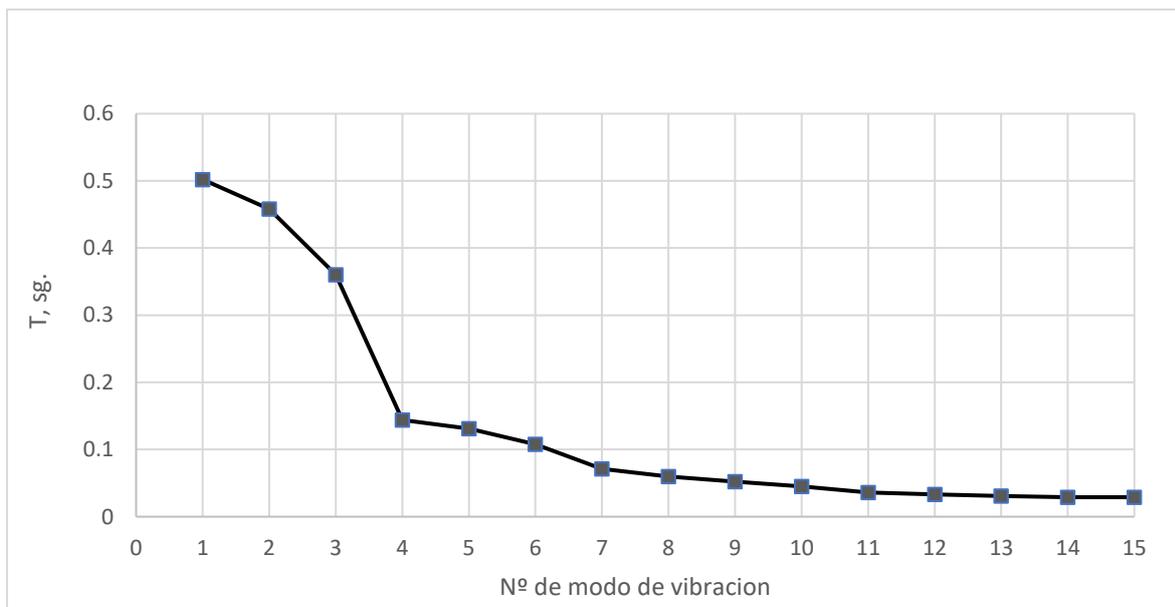


Tabla 6

Modos de vibración, períodos naturales y porcentajes de masa participativa en la Superestructura 3.

Mode	Period	UX	UY	RZ
	sec			
1	0.502	0.9049	0.0002	0.0026
2	0.458	0.0001	0.8415	0.0089
3	0.36	0.0032	0.0053	0.8932
4	0.144	0.0609	0.0001	0.0005
5	0.131	0.0000	0.1038	0.0009
6	0.108	0.0001	0.0068	0.0654
7	0.071	0.0092	0.0000	0.0001
8	0.06	0.0000	0.0122	0.0019
9	0.052	0.0000	0.0050	0.0091
10	0.045	0.0033	0.0000	0.0000
11	0.036	0.0000	0.0023	0.0010
12	0.033	0.0018	0.0000	0.0000
13	0.031	0.0000	0.0025	0.0019
14	0.029	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.029	<u>0.0000</u>	<u>0.0000</u>	<u>0.0000</u>
	Σ	1.0	1.0	1.0

Nota. Se muestra 15 modos de vibración con la finalidad de demostrar que la super estructura 2 posee la suficiente masa participativa exigida en E.030 del RNE (2018).

El modo fundamental 01 es de 0.502 sg. (modo traslacional) y captura el 90.49% de la masa en la dirección X.

Asimismo, el modo 02 es de 0.458 sg. (modo traslacional) y captura el 84.15% de la masa en la dirección Y.

Finalmente, el modo 03 es de 0.36 sg. (modo rotacional) y captura el 89.32% de la masa en la dirección Z.

De la Tabla 06, se demuestra que las sumatorias de las masas en las tres direcciones suman la unidad que representa el 100% de la masa de la super estructura 3.

4.1.3 Análisis dinámico espectral

Para cada una de las direcciones horizontales evaluadas, se empleará un espectro inelástico de pseudoaceleraciones conforme a lo establecido por la Norma Técnica Peruana E.030 (2018).

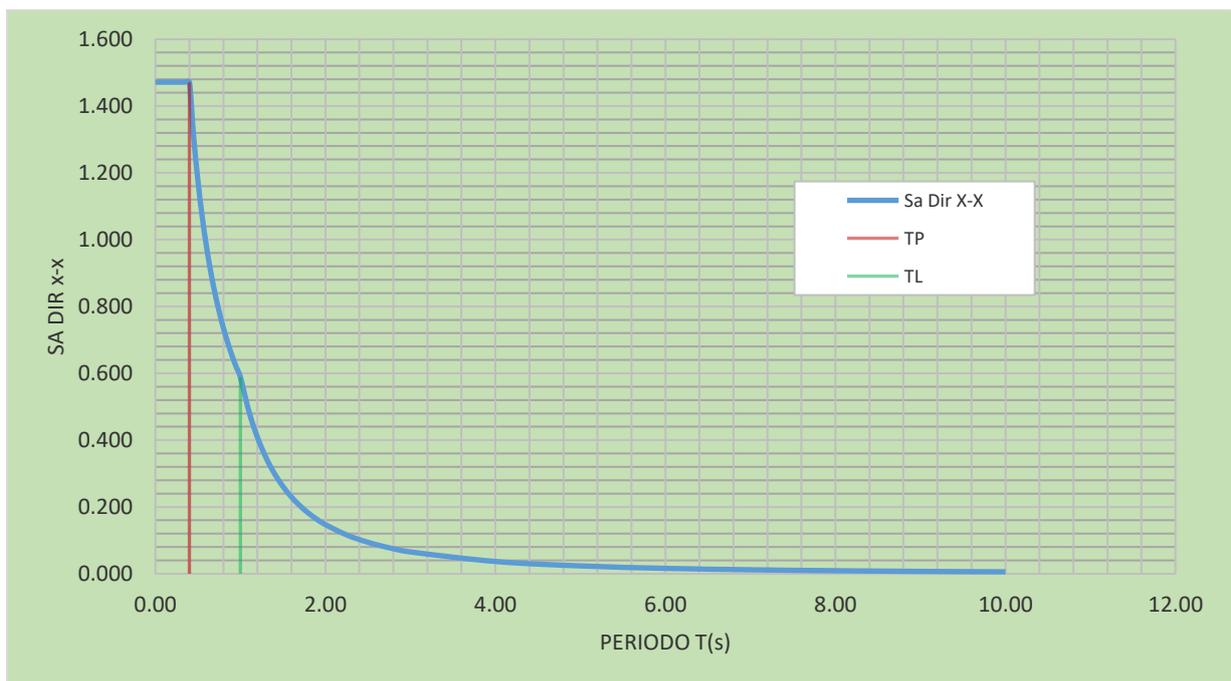
$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g$$

Los parámetros requeridos para la elaboración del espectro inelástico se encuentran resumidos al inicio del capítulo IV, en el apartado correspondiente a la Descripción del proyecto.

En el caso específico de la dirección X-X, el espectro inelástico presenta los valores de aceleraciones espectrales en función de los periodos de vibración, considerando que el sistema estructural adoptado es de tipo dual, compuesto por pórticos y muros de albañilería confinada.

Figura 34

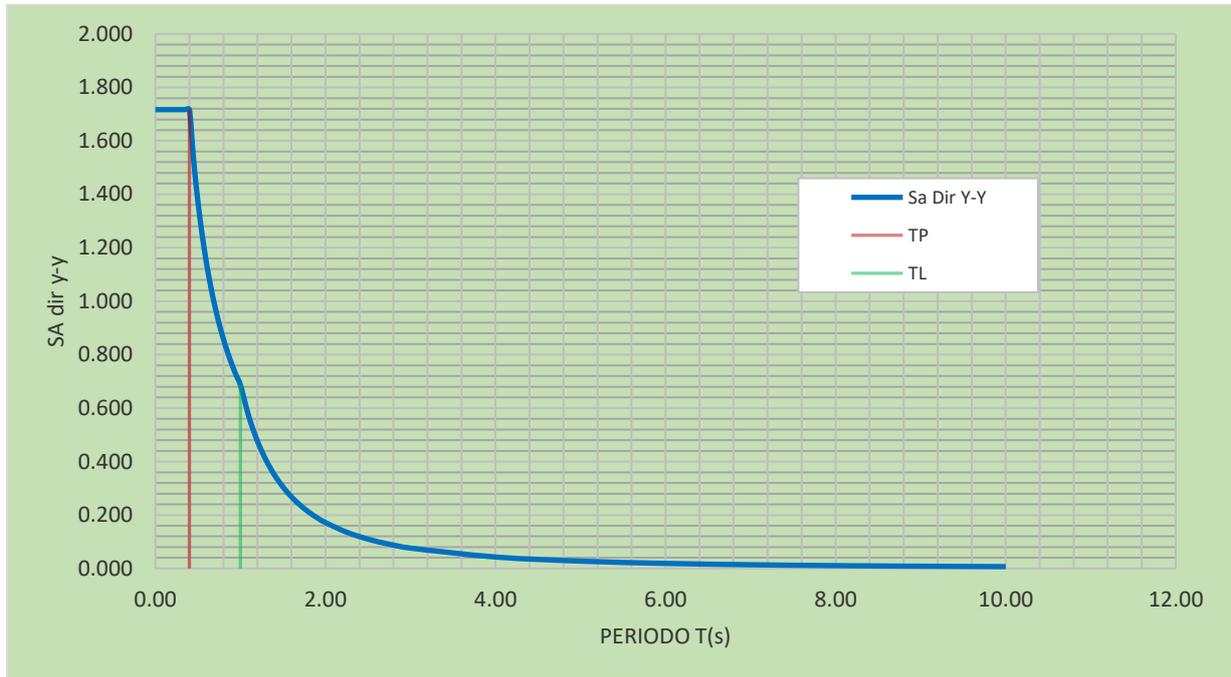
Superestructura 1,2 y 3. Espectro de Pseudo aceleraciones X-X



El espectro inelástico de la dirección Y-Y, posee las siguientes aceleraciones espectrales vs. periodo debido a que el sistema estructural utilizado es el dual (muros estructurales).

Figura 35

Superestructura 1,2 y 3. Espectro de Pseudo aceleraciones Y-Y



De acuerdo con los criterios de combinación establecidos en la Norma E.030 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018), es posible determinar la respuesta elástica máxima esperada r_{rr} , tanto para los esfuerzos internos en los elementos estructurales como para los parámetros globales del edificio, tales como fuerza cortante basal, cortantes de entrepiso, momentos de volcamiento, y desplazamientos absolutos y relativos de entrepiso.

Para la presente investigación, se ha empleado el método de Combinación Cuadrática Completa (CQC), que asume un 5% de amortiguamiento crítico y una excentricidad accidental del 5% perpendicular a la dirección del sismo (Colqui, 2018).

Los parámetros globales evaluados para las tres superestructuras analizadas incluyen: fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso y derivas interpiso. Aplicando el criterio CQC, se obtuvieron los resultados que se presentan a continuación:

Super estructura 1:

Figura 36

Superestructura 1. Derivas máximas usando el criterio CQC Dirección X.

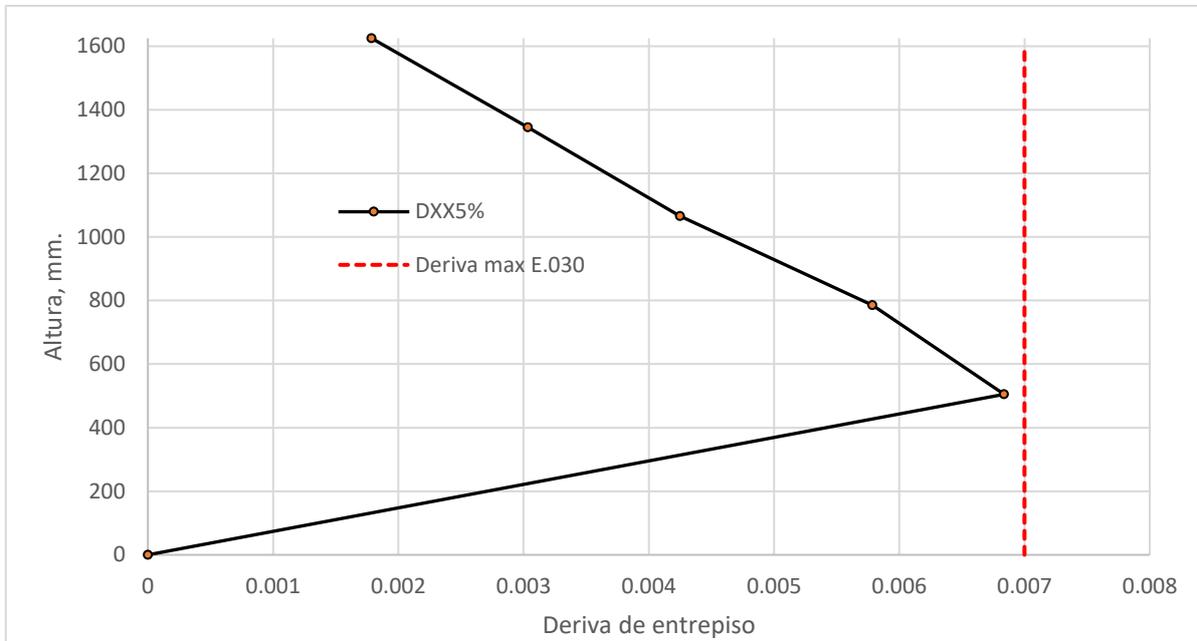
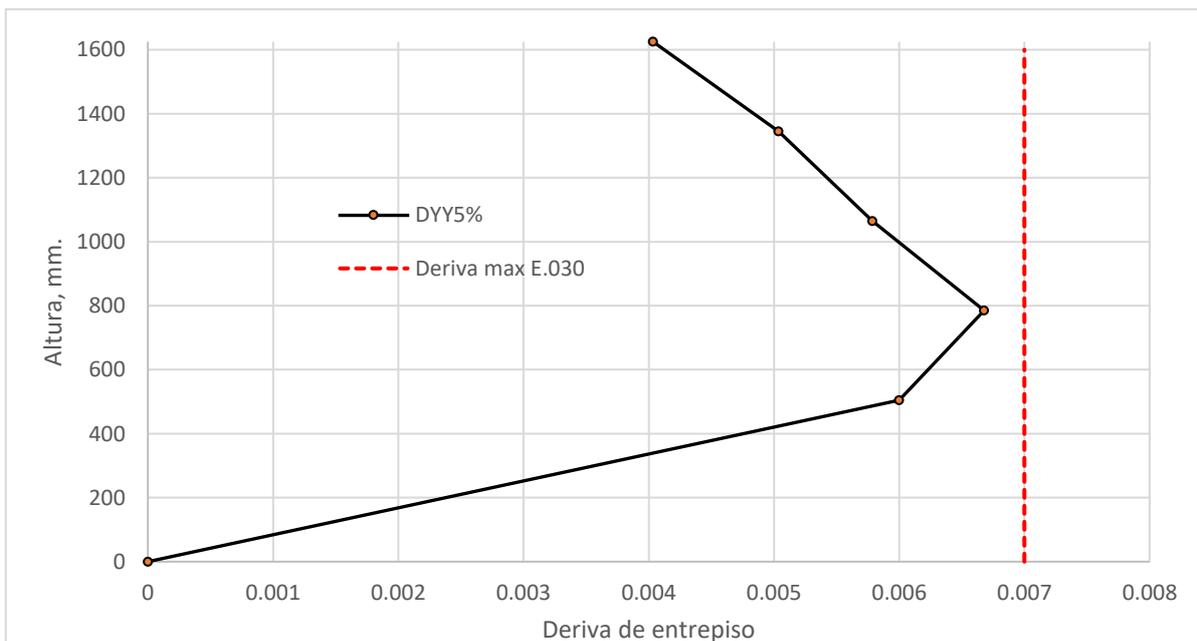


Figura 37

Superestructura 1. Derivas máximas usando el criterio CQC Dirección Y



Super estructura 2:

Figura 38

Superestructura 2. Derivas máximas usando el criterio CQC Dirección X

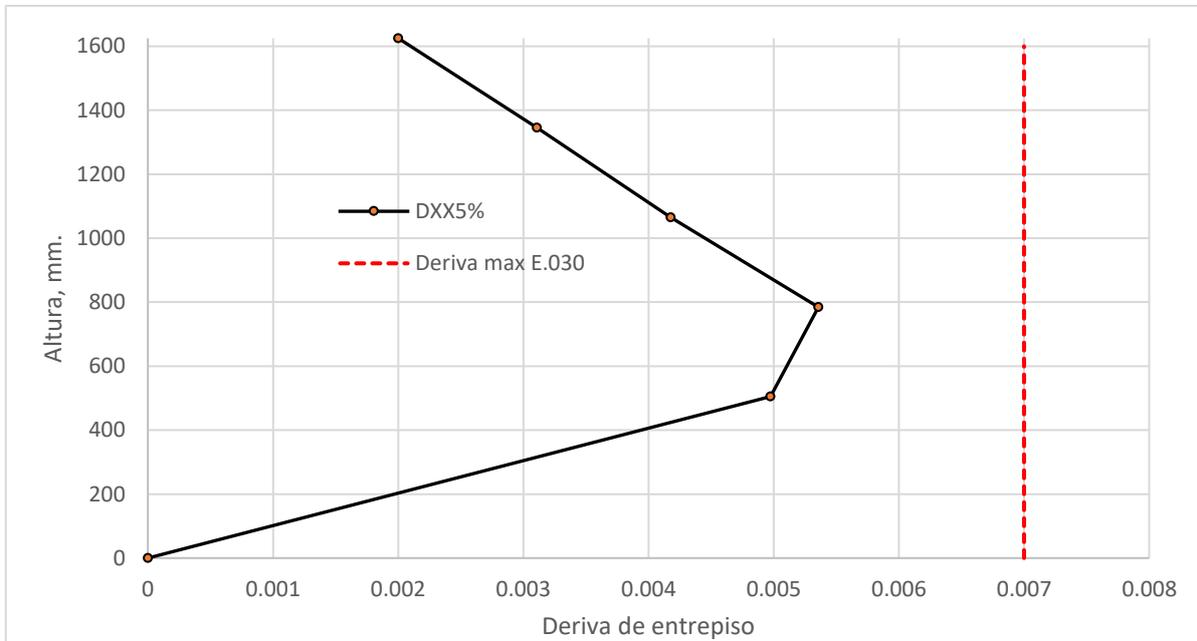
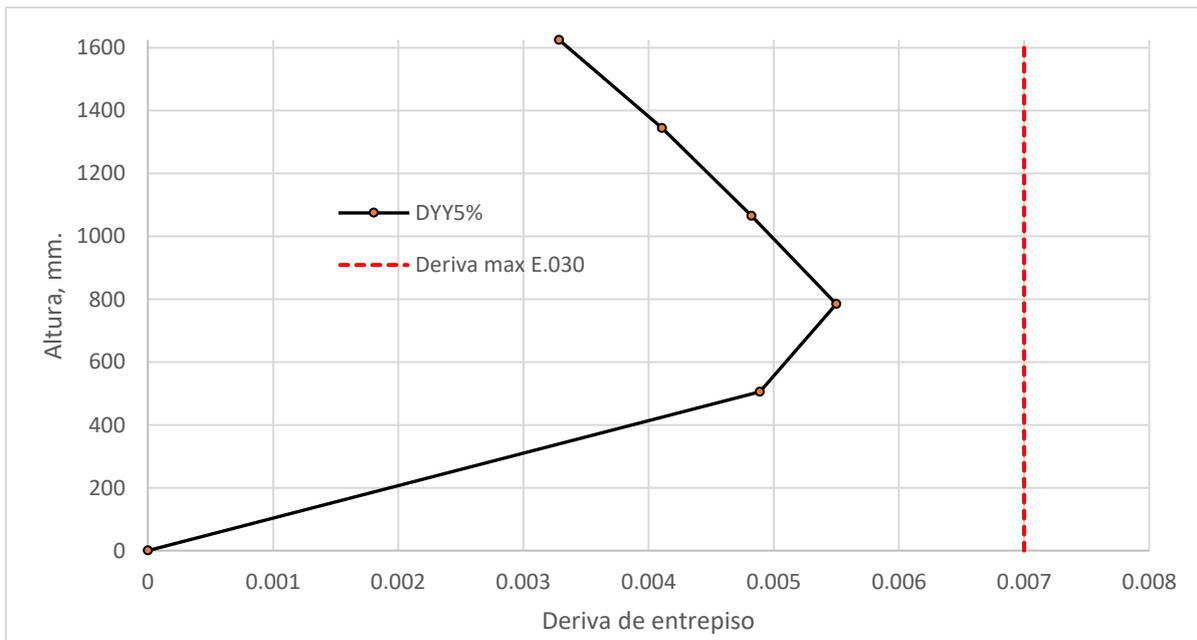


Figura 39

Superestructura 2. Derivas máximas usando el criterio CQC Dirección Y



Super estructura 3:

Figura 40

Superestructura 3. Derivas máximas usando el criterio CQC Dirección X

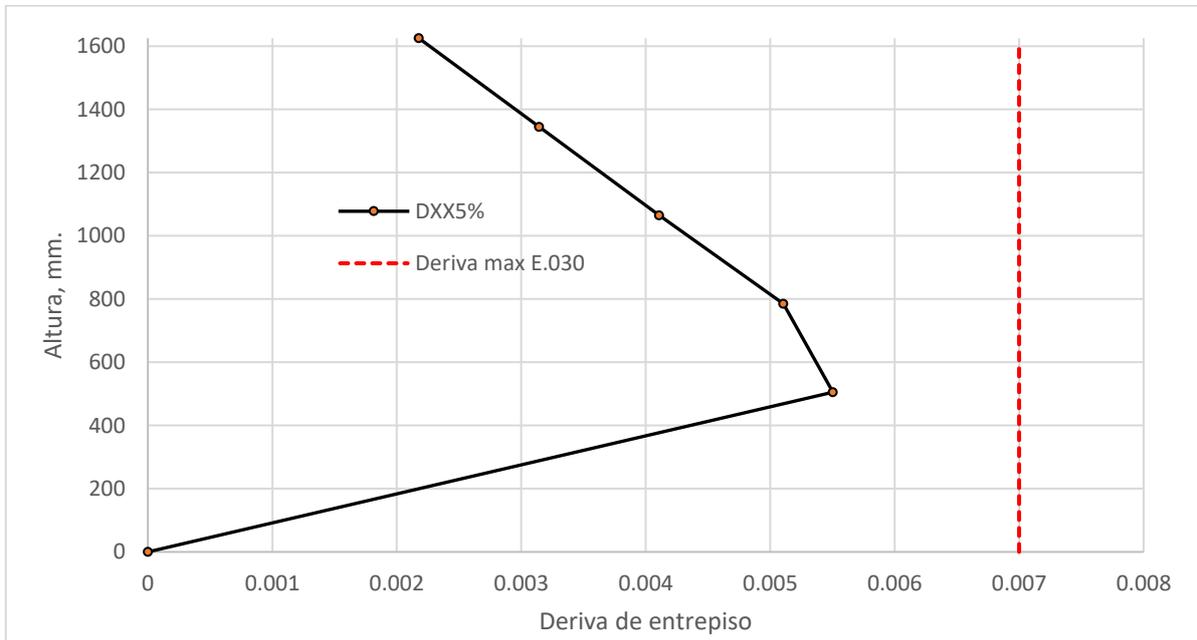
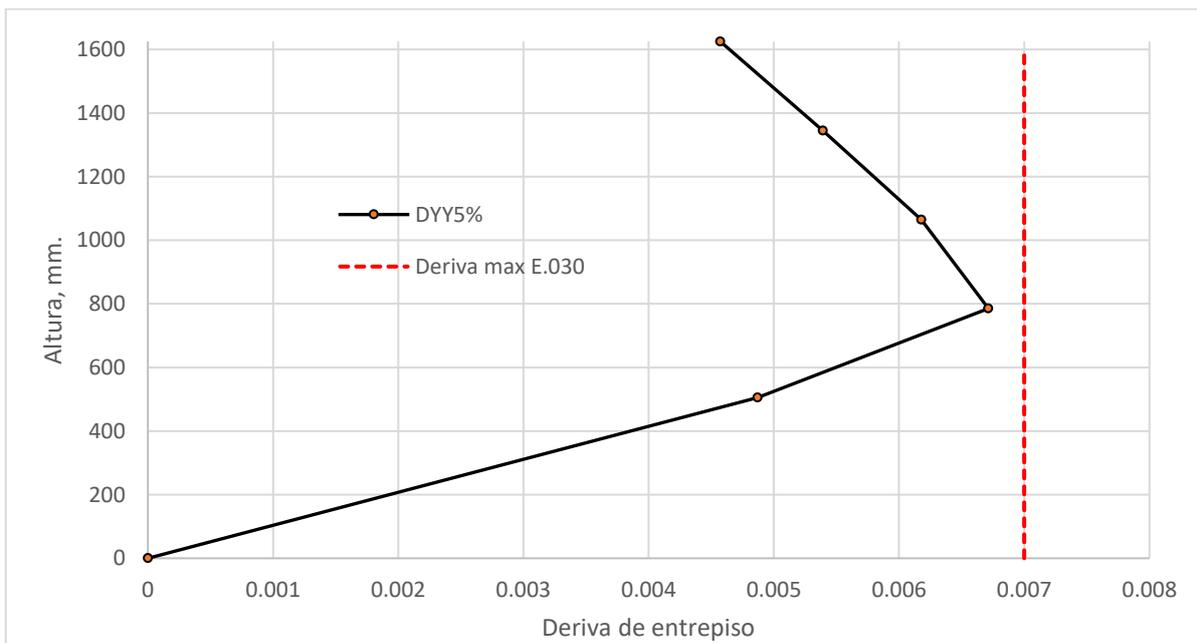


Figura 41

Superestructura 3. Derivas máximas usando el criterio CQC Dirección Y



4.1.4 Construcción de espectros de respuesta para diversos niveles de amortiguamiento

Un espectro de respuesta es una representación gráfica que muestra la respuesta máxima (ya sea desplazamiento, velocidad o aceleración) que genera una determinada excitación dinámica sobre un conjunto de osciladores ideales de un grado de libertad (1GDL).

Para construir dicho espectro, se analiza la respuesta dinámica de múltiples osciladores de 1GDL, cada uno con un periodo natural de vibración TTT distinto, pero con un mismo coeficiente de amortiguamiento. Cada oscilador responde de forma diferente ante la misma excitación, por lo que se calcula el valor máximo (en valor absoluto, sin considerar el signo) de dicha respuesta para cada caso. Estos máximos se grafican en función del periodo TTT, obteniéndose así el espectro de respuesta.

En este contexto, cada punto del espectro representa la respuesta máxima alcanzada por un oscilador específico con periodo TTT ante la acción sísmica considerada (Crisafulli & Villafañe, 2018).

Como primer paso, se inserta los parámetros del archivo de entrada correspondiente a la aceleración sísmica de Huaraz 1970; en el software Seismo Signal:

Figura 42

Ingreso de parámetros para el sismo de Huaraz 1970

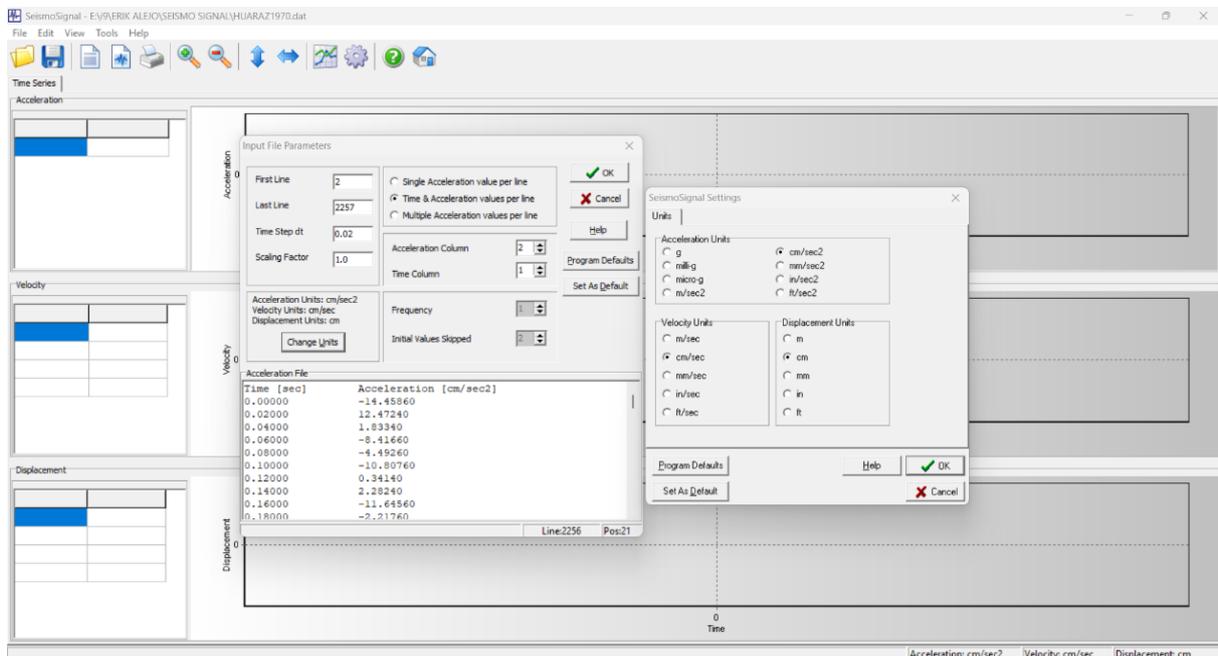


Figura 43

Ingreso de parámetros para el sismo de Ica 2007

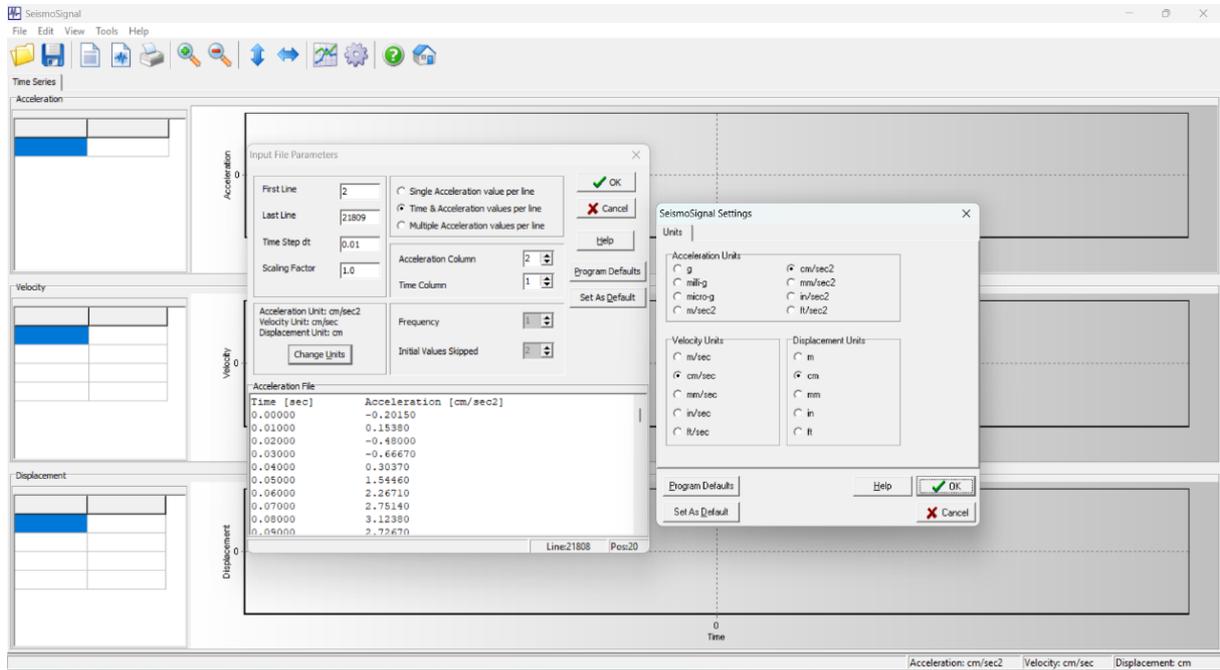


Figura 44

Ingreso de parámetros para el sismo de Lima 1966

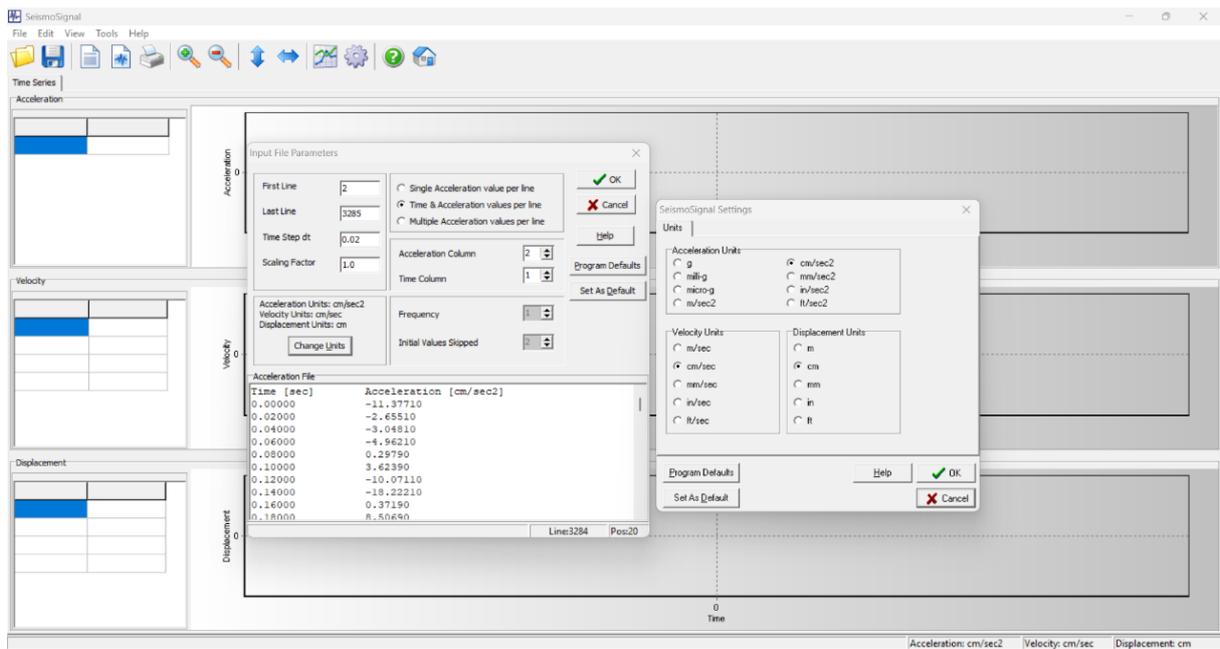
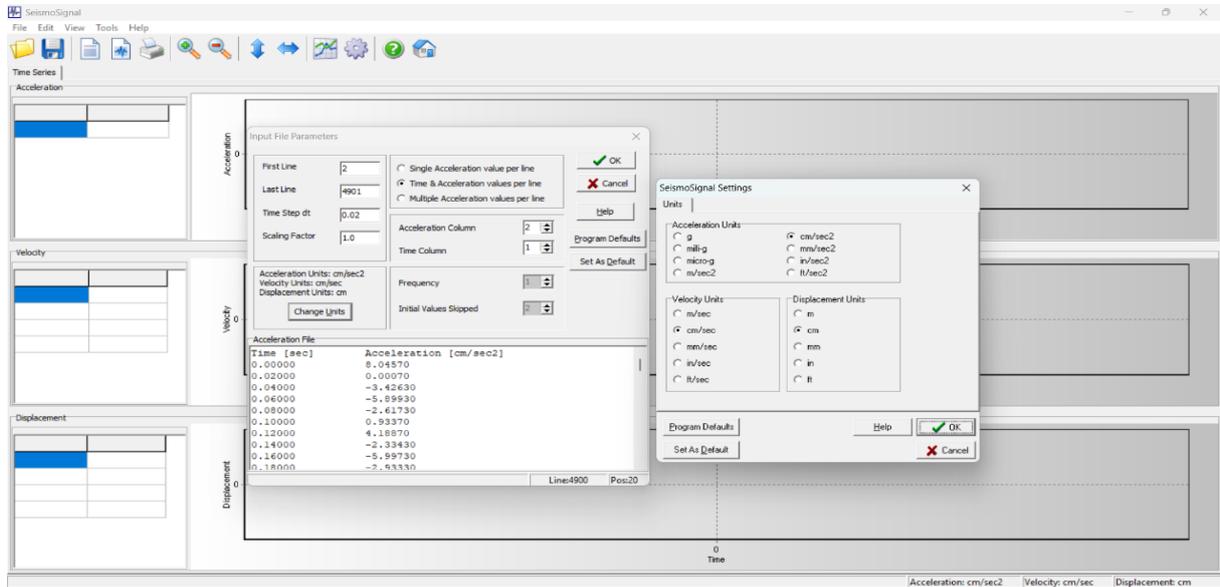


Figura 45

Ingreso de parámetros para el sismo de Lima 1974



A continuación, se genera el espectro de respuesta correspondiente a distintos valores de amortiguamiento (4%, 5% y 6%), a partir de la relación entre los periodos de vibración (segundos) y las aceleraciones espectrales (cm/s^2). Este procedimiento permite evaluar cómo varía la respuesta dinámica del sistema en función del nivel de disipación de energía considerado mayor detalle de la data (ver anexos las tablas de A1 a A4).

Figura 46

Espectro de respuesta para Huaraz, 1970

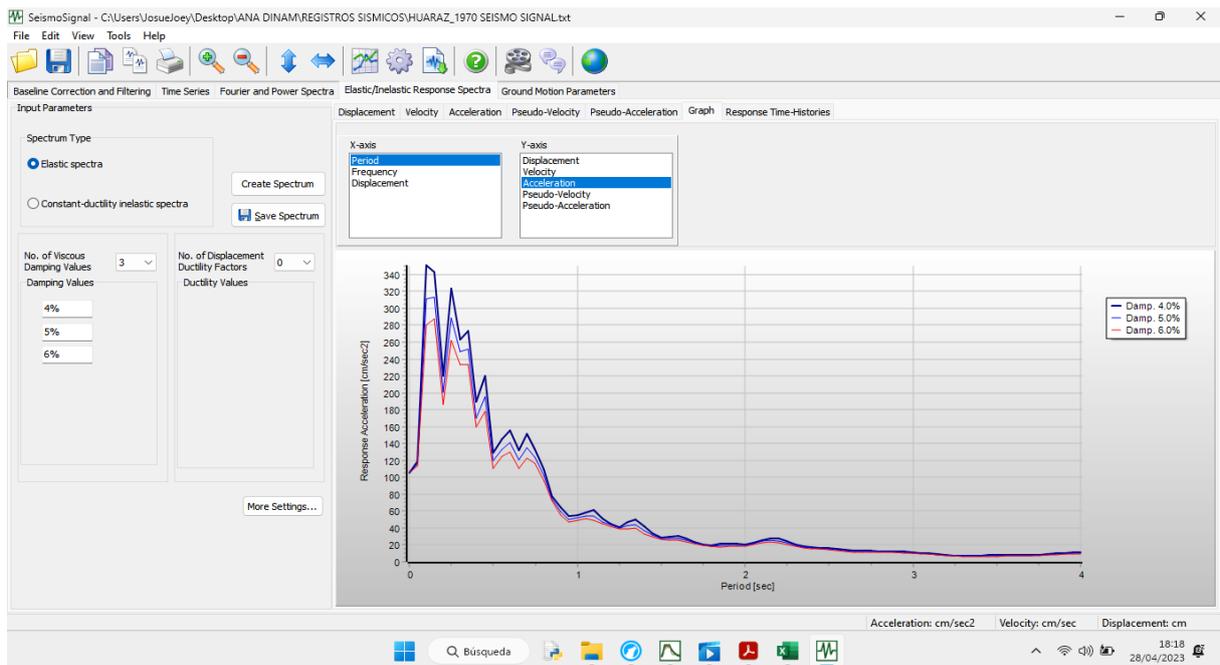


Figura 47

Especetro de respuesta para Ica 2007

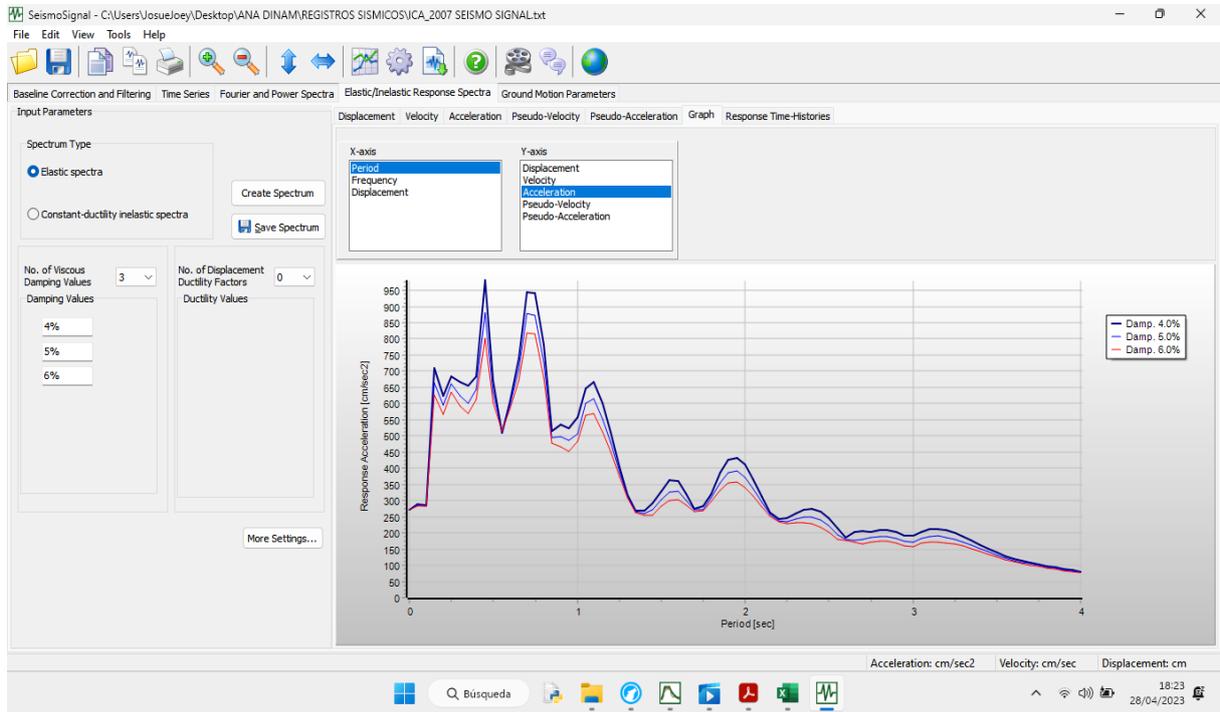


Figura 48

Especetro de respuesta para Lima 1966

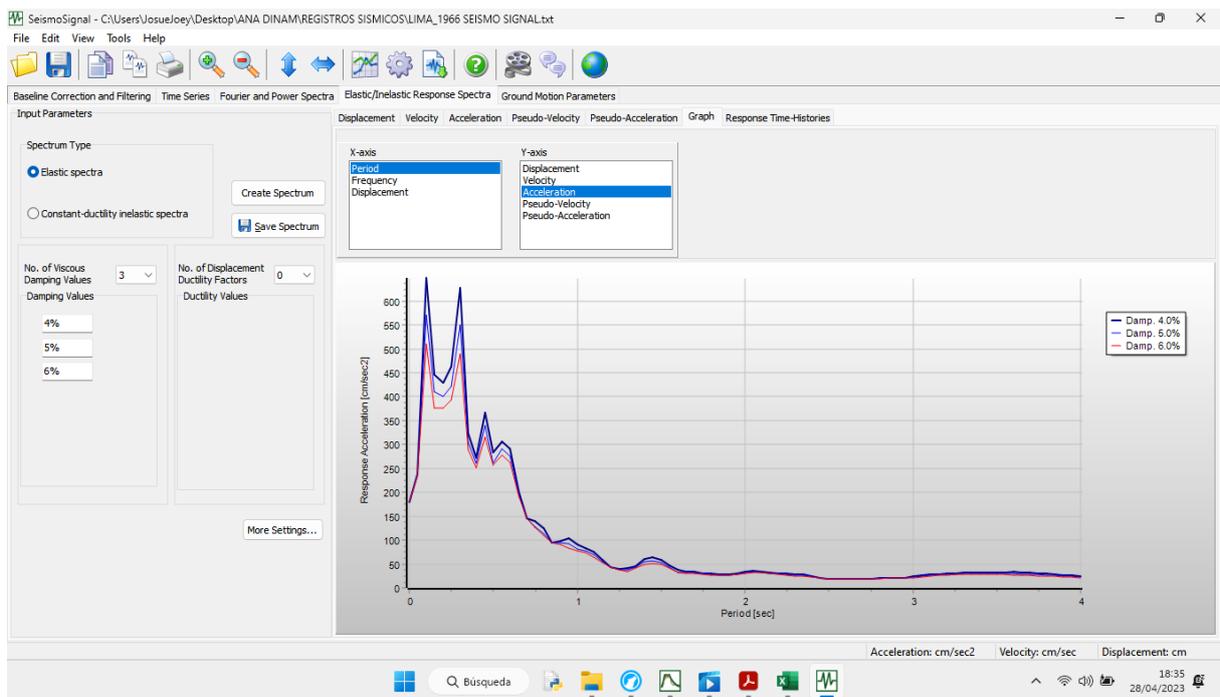
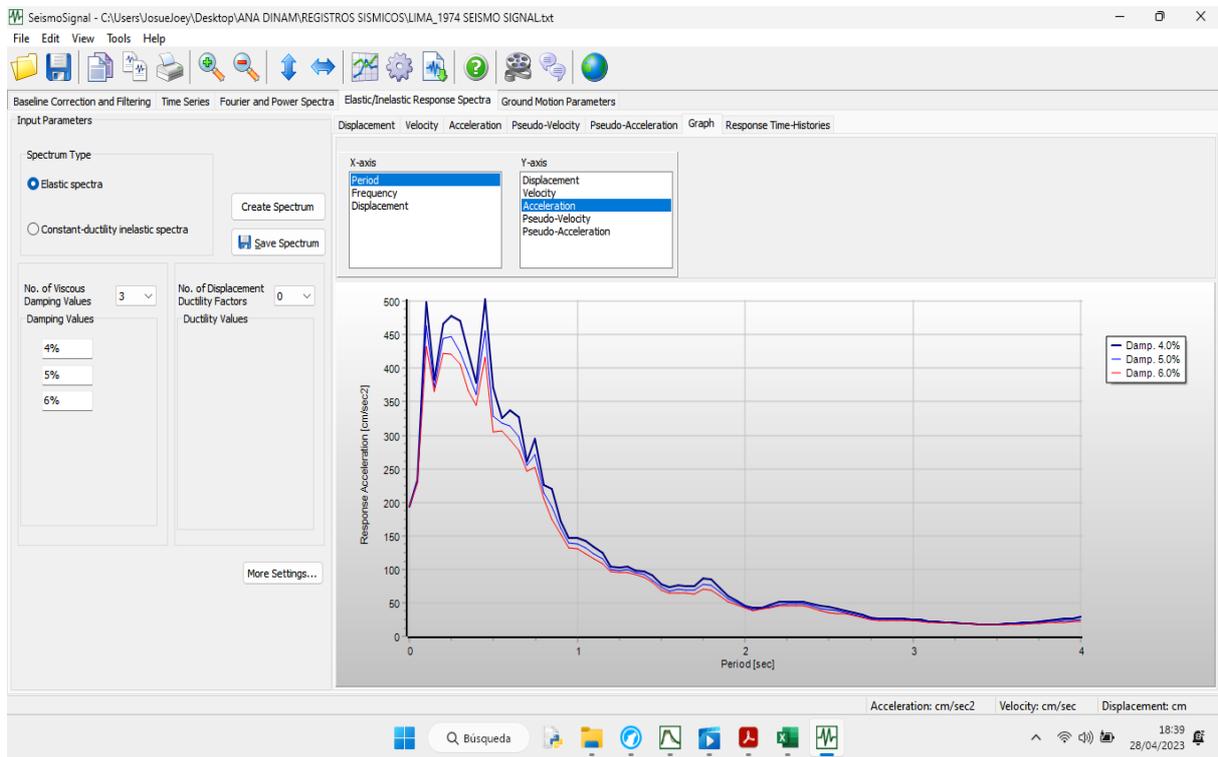


Figura 49

Espectro de respuesta para de Lima 1974



Los datos correspondientes a los espectros de respuesta obtenidos para cada registro sísmico fueron extraídos y exportados al software Excel, donde se procedió a la construcción de los espectros considerando distintos niveles de amortiguamiento (4%, 5% y 6%). Este análisis se realizó para una aceleración máxima del suelo de fundación de 0.45g, correspondiente a la zona de estudio, según lo ilustran las tablas siguientes.

Tabla 7

Escalamiento de registros sísmicos para el amortiguamiento del 4%.

<i>Period [sec]</i>	HUARAZ	ICA 2007	LIMA 1966	LIMA1974	ESCALAMIENTO DE REGISTROS			
	<i>Damp.=4.0%</i>	<i>Damp.=4.0%</i>	<i>Damp.=4.0%</i>	<i>Damp.=4.0%</i>				
0	105.05	272.82	180.56	194.21	0.45	0.45	0.45	0.45
0.05	119.13	288.58	238.18	233.65	0.51	0.48	0.59	0.54
0.1	351.11	286.08	648.64	498.84	1.50	0.47	1.62	1.16
0.15	342.95	709.75	447.06	382.39	1.47	1.17	1.11	0.89
0.2	220.21	624.66	428.53	466.97	0.94	1.03	1.07	1.08
0.25	323.01	682.92	462.81	478.94	1.38	1.13	1.15	1.11
0.3	263.54	668.16	627.95	470.84	1.13	1.10	1.56	1.09
0.35	272.89	653.95	323.88	424.41	1.17	1.08	0.81	0.98
0.4	189.28	682.52	272.05	378.03	0.81	1.13	0.68	0.88
0.45	220.39	981.57	367.75	503.31	0.94	1.62	0.92	1.17

0.5	129.35	670.21	282.81	370.79	0.55	1.11	0.70	0.86
0.55	145.74	508.10	305.73	326.37	0.62	0.84	0.76	0.76
0.6	155.72	606.99	290.45	337.50	0.67	1.00	0.72	0.78

Tabla 8

Escalamiento de registros sísmicos para el amortiguamiento del 5%

<i>Period [sec]</i>	HUARAZ	ICA 2007	LIMA 1966	LIMA1974	ESCALAMIENTO DE REGISTROS			
	1970							
	<i>Damp.=5.0%</i>	<i>Damp.=5.0%</i>	<i>Damp.=5.0%</i>	<i>Damp.=5.0%</i>				
0.00	105.05	272.82	180.56	194.21	0.45	0.45	0.45	0.45
0.05	115.41	284.86	236.09	231.54	0.49	0.47	0.59	0.54
0.10	310.88	282.96	571.49	463.03	1.33	0.47	1.42	1.07
0.15	313.52	665.34	409.76	371.87	1.34	1.10	1.02	0.86
0.20	201.11	594.04	401.25	444.74	0.86	0.98	1.00	1.03
0.25	288.82	662.42	422.15	446.92	1.24	1.09	1.05	1.04
0.30	249.11	625.16	549.69	424.26	1.07	1.03	1.37	0.98
0.35	251.46	601.15	305.27	392.69	1.08	0.99	0.76	0.91
0.40	170.06	643.49	261.54	360.98	0.73	1.06	0.65	0.84
0.45	195.35	881.57	340.19	456.81	0.84	1.45	0.85	1.06
0.50	119.37	634.14	260.39	328.59	0.51	1.05	0.65	0.76
0.55	133.15	513.01	290.46	317.98	0.57	0.85	0.72	0.74
0.60	141.51	595.90	275.88	313.55	0.61	0.98	0.69	0.73

Tabla 9

Escalamiento de registros sísmicos para el amortiguamiento del 6%.

<i>Period [sec]</i>	HUARAZ	ICA 2007	LIMA 1966	LIMA1974	ESCALAMIENTO DE REGISTROS			
	1970							
	<i>Damp.=6.0%</i>	<i>Damp.=6.0%</i>	<i>Damp.=6.0%</i>	<i>Damp.=6.0%</i>				
0.00	105.05	272.82	180.56	194.21	0.45	0.45	0.45	0.45
0.05	113.40	282.52	233.69	229.52	0.49	0.47	0.58	0.53
0.10	280.95	281.91	510.25	433.07	1.20	0.46	1.27	1.00
0.15	288.11	626.24	376.01	365.84	1.23	1.03	0.94	0.85
0.20	185.90	567.59	375.82	423.19	0.80	0.94	0.94	0.98
0.25	262.45	635.85	393.18	420.57	1.12	1.05	0.98	0.97
0.30	233.23	592.67	489.45	406.18	1.00	0.98	1.22	0.94
0.35	233.32	570.84	289.01	366.79	1.00	0.94	0.72	0.85
0.40	159.94	613.70	252.36	345.40	0.69	1.01	0.63	0.80
0.45	177.81	802.30	316.58	417.31	0.76	1.32	0.79	0.97
0.50	110.97	604.31	256.79	305.54	0.48	1.00	0.64	0.71
0.55	124.93	514.43	277.63	306.91	0.54	0.85	0.69	0.71
0.60	129.52	583.98	262.07	293.08	0.55	0.96	0.65	0.68

0.65 110.99 673.60 191.57 277.61 0.48 1.11 0.48 0.64

Figura 50

Generación de los espectros de respuestas al 4%.

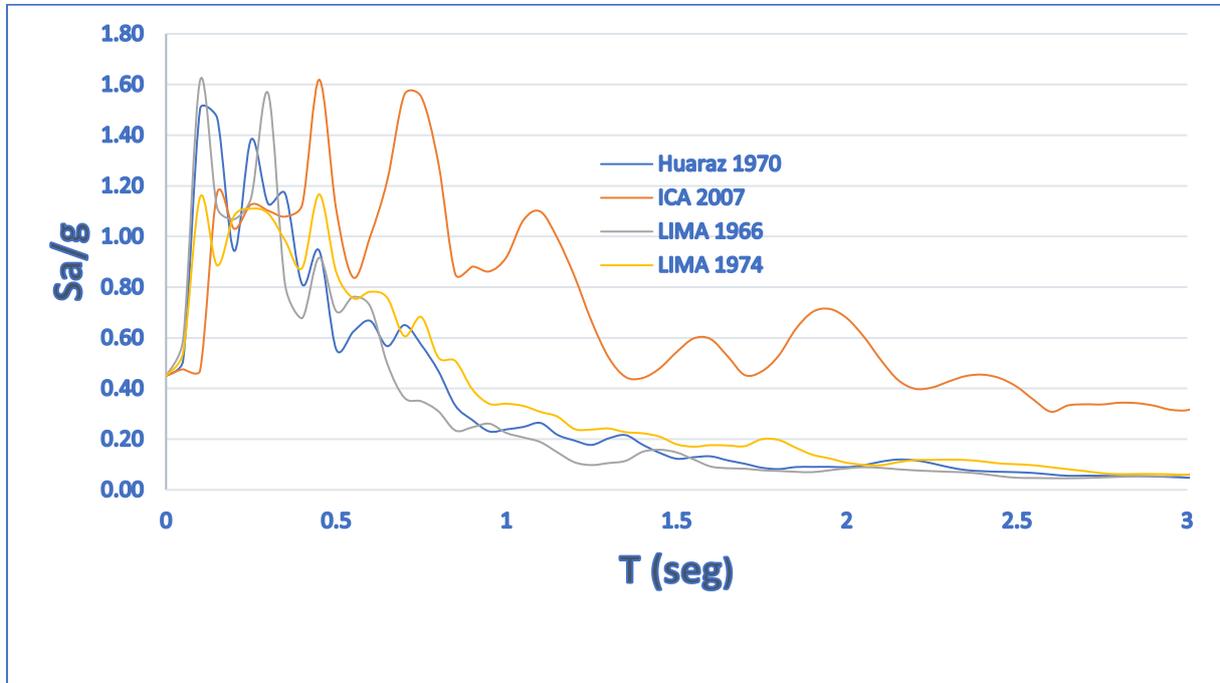


Figura 51

Generación de los espectros de respuestas al 5%.

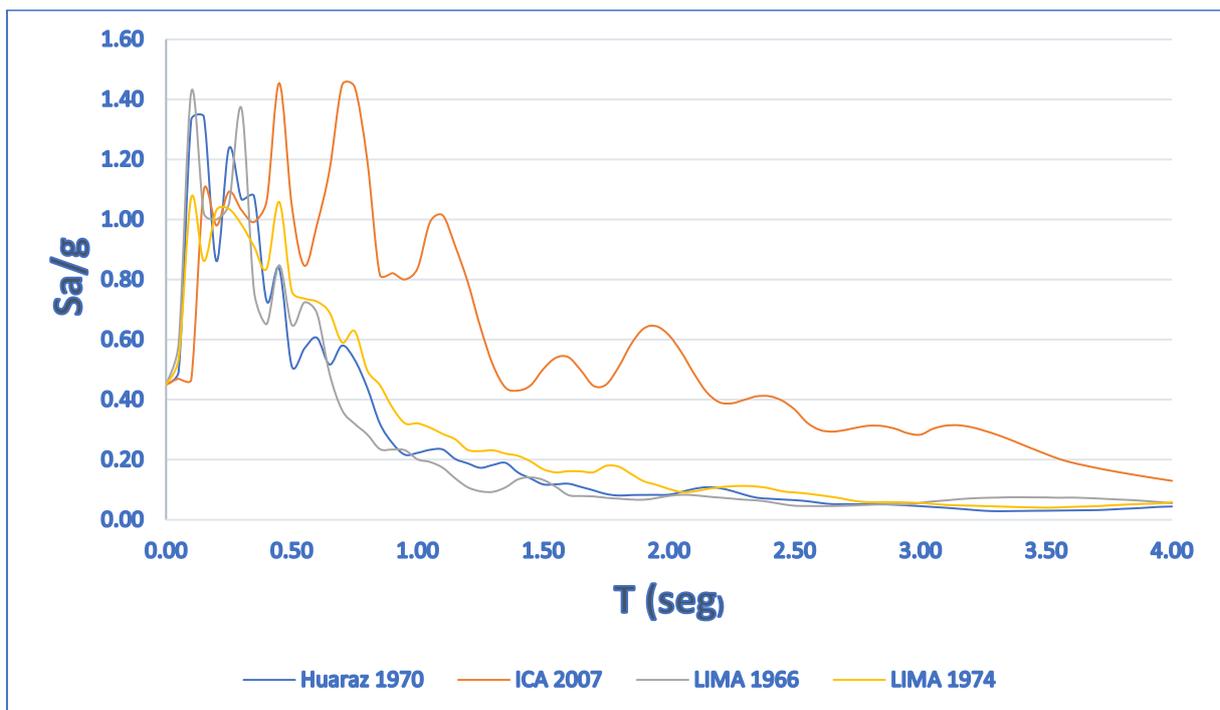
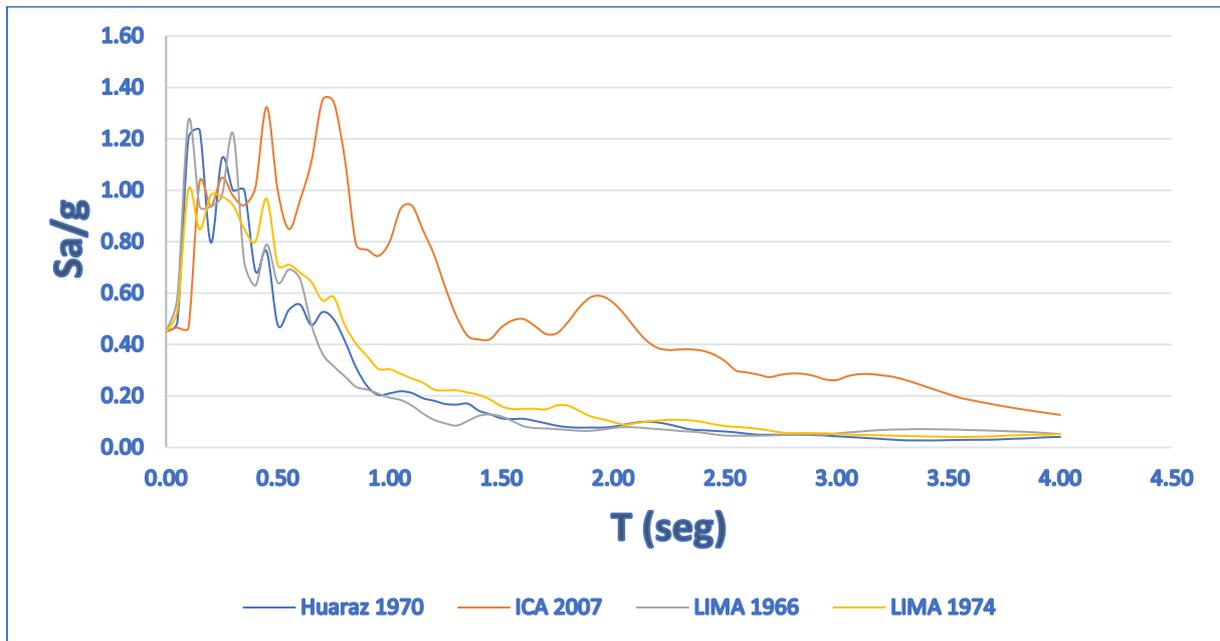


Figura 52

Generación de los espectros de respuestas al 6%.



La construcción de los espectros de respuesta suavizados al amortiguamientos del 5% son dependientes directamente de las características de la zona (Z), uso (U), suelo (S) y el factor de reducción de fuerzas sísmicas (R), así como del parámetro (C) denominado “Coeficiente de amplificación sísmica”. Para esta investigación, se recurre al artículo 14 del código peruano E.030 en donde menciona que el mencionado factor es dependiente de las características de sitio y del periodo fundamental de vibración de cada estructura, bajo las siguientes consideraciones:

$$T < T_p \quad C = 2.5$$

$$T < T < T_L \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$$

$$T < T_p \quad C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$$

Super estructura 1: $T = 0.56$ sg., $T_p = 1.00$ sg. y $T_L = 1.60$ sg.

Entonces: $T = 0.56$ sg. $< T_p = 1.00$ sg., por lo tanto, $C = 2.5$

Super estructura 2: $T = 0.458$ sg., $T_p = 1.00$ sg. y $T_L = 1.60$ sg.

Entonces: $T = 0.458$ sg. $< T_p = 1.00$ sg., por lo tanto, $C = 2.5$

Super estructura 3: $T = 0.502$ sg., $T_p = 1.00$ sg. y $T_L = 1.60$ sg.

Entonces: $T = 0.502$ sg. $< T_p = 1.00$ sg., por lo tanto, $C = 2.5$

Luego, la construcción de los espectros de respuesta suavizados a los amortiguamientos del 4% y 6% son dependientes directamente de las características de la zona (Z), uso (U), suelo (S) y el factor de reducción de fuerzas sísmicas (R); sin embargo, el código peruano E.030 no

menciona la manera de calcular el parámetro (C), por ello, se recurre a Colqui (2018) que menciona:

La ecuación que modela con alta precisión la relación entre el porcentaje de amortiguamiento y el coeficiente de amplificación sísmica presenta un nivel de ajuste del 99.90 % respecto a los datos obtenidos, lo que la valida como una expresión representativa de esta dependencia. Dicha relación se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$C = 0.6840 - 0.603 \ln(\xi\%)$$

Esta relación permite generar espectros de diseño ajustados para distintos niveles de amortiguamiento, dentro del rango de 3 % a 7 %, facilitando su aplicación en el análisis sísmico de diversas estructuras con diferentes características dinámicas.

Super estructura 1, 2 y 3:

$$\xi=4\% \Rightarrow C = 0.6840 - 0.603 \ln(4\%) = 2.625$$

$$\xi=6\% \Rightarrow C = 0.6840 - 0.603 \ln(6\%) = 2.380$$

Finalmente, una vez determinados todos los parámetros requeridos, se procede a la construcción gráfica de los espectros elásticos de diseño, los cuales se presentan a continuación.

Figura 53

Espectro elástico de diseño al 4%.

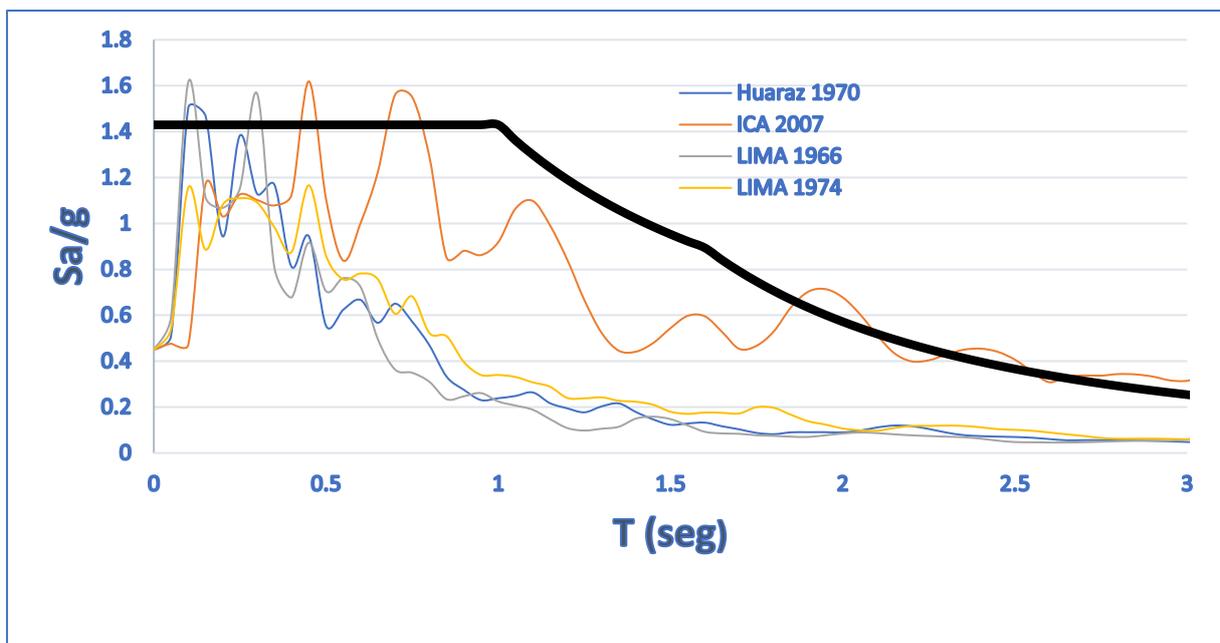


Figura 54

Espectro de diseño al 5%

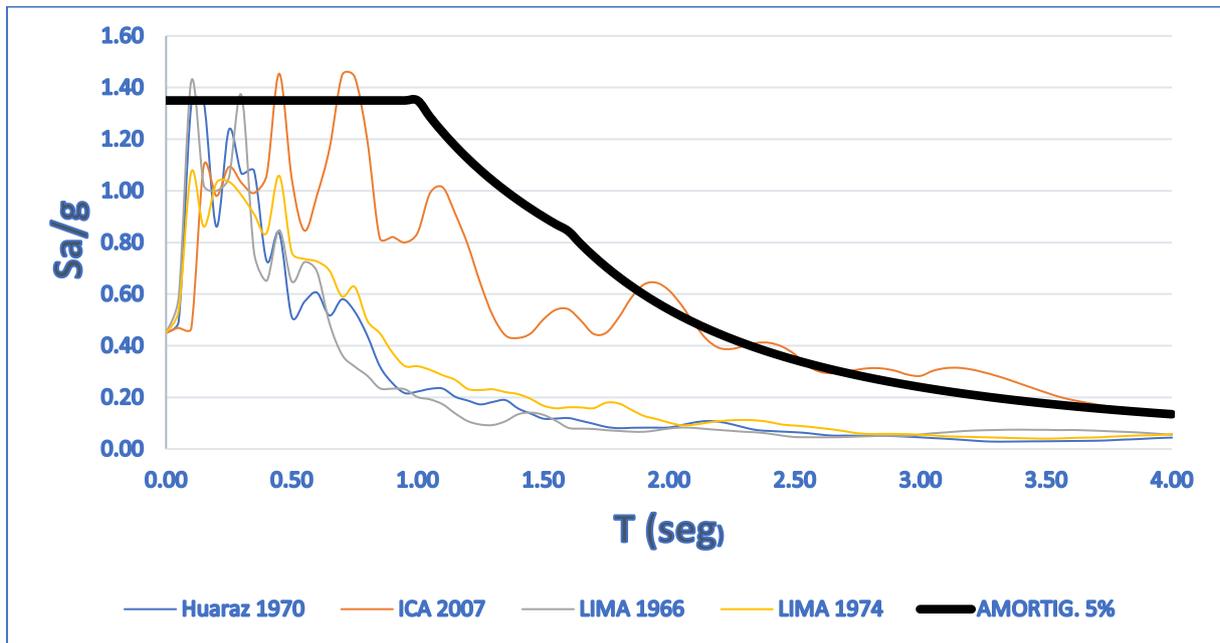
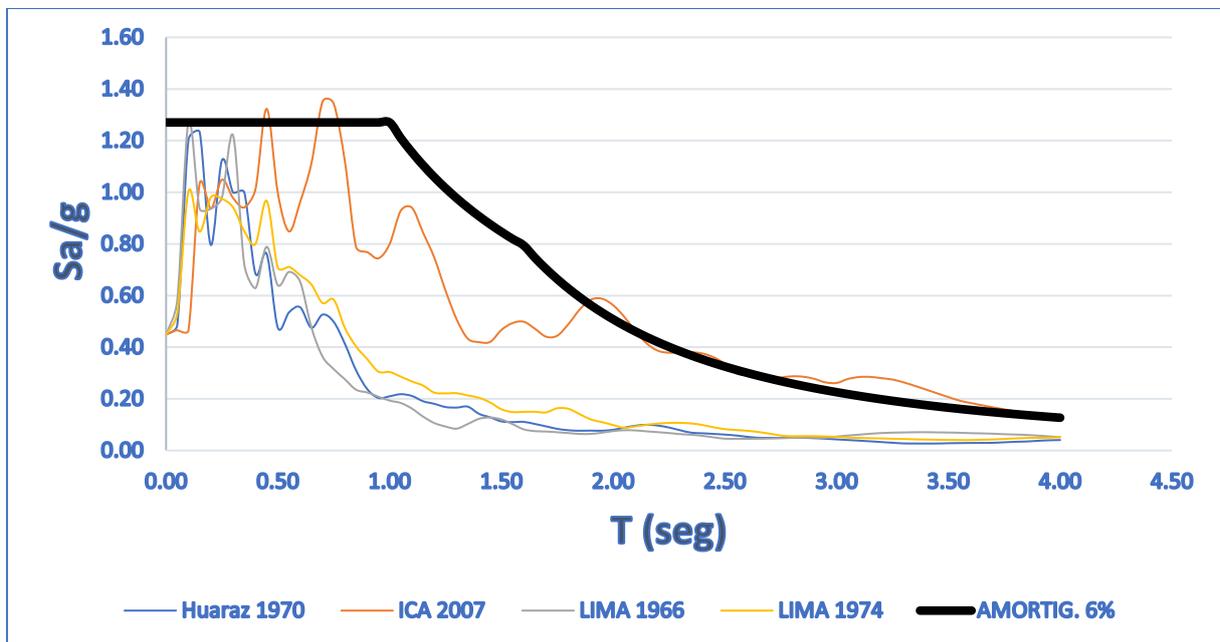


Figura 55

Espectro de diseño al 6%



A continuación, se reportan los espectros de diseño inelásticos, es decir considerando el factor de reducción de fuerzas sísmicas en ambas direcciones de análisis:

Figura 56

Espectros inelásticos de diseño en la dirección X

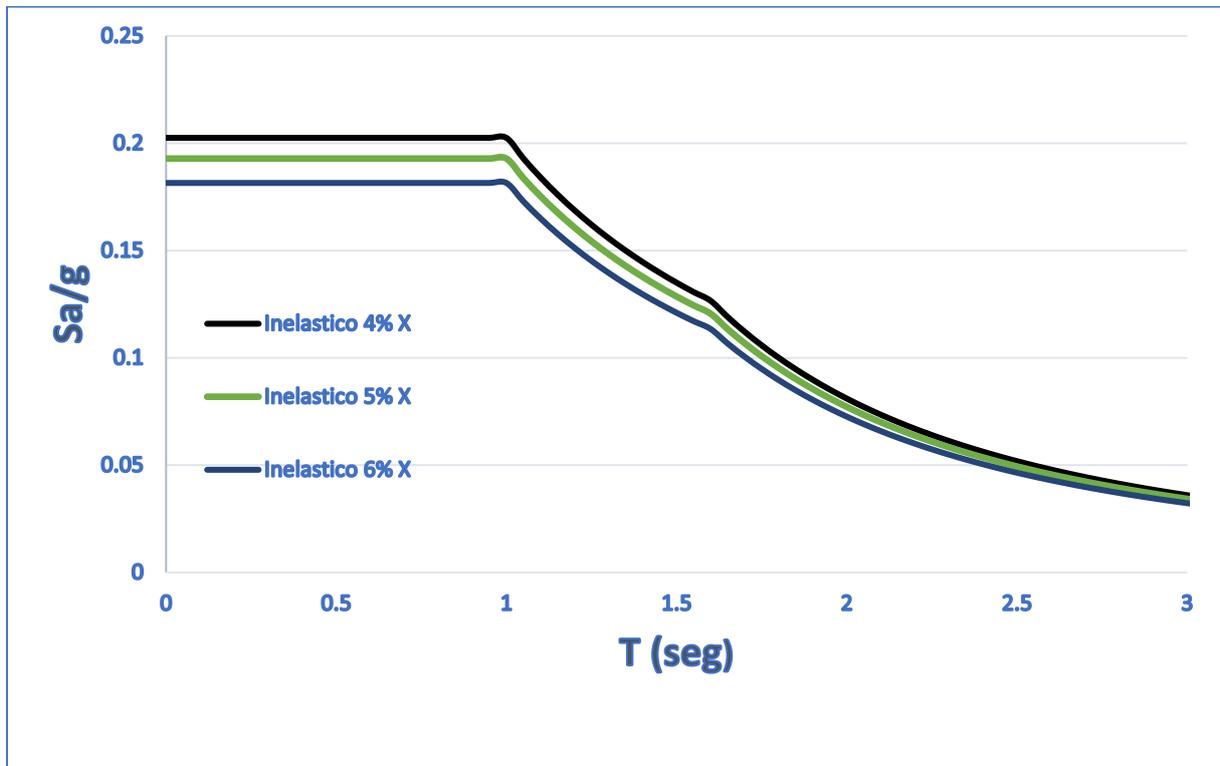
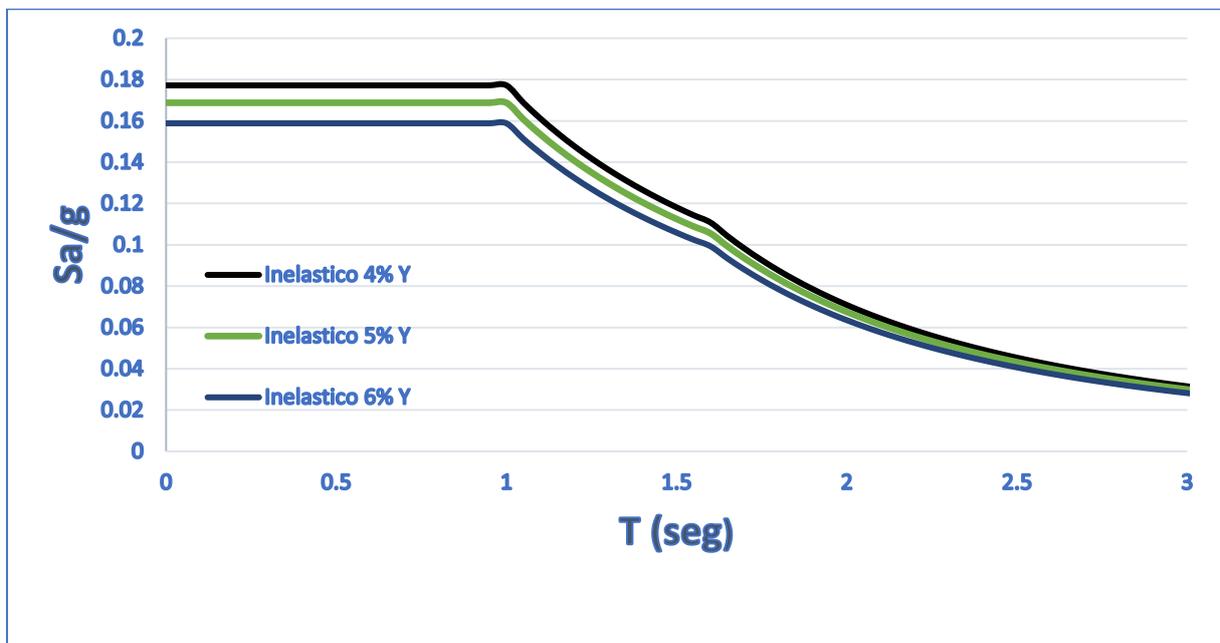


Figura 57

Espectros inelásticos de diseño en la dirección Y



Análisis dinámico con diferentes valores de amortiguamiento - derivas

Se evalúan derivas de entrapiso y fuerzas cortantes acorde a lo exigido por el código nacional peruano E.030; para las derivas de entrapiso, se utilizó el método del espectro de respuesta obtenido para cada valor de amortiguamiento y en ambas direcciones de análisis, tal como se muestra a continuación:

Para la Super estructura 1:

Figura 58

Derivas de entrapiso en Super estructura 1; con distintos amortiguamientos – Dir. XX

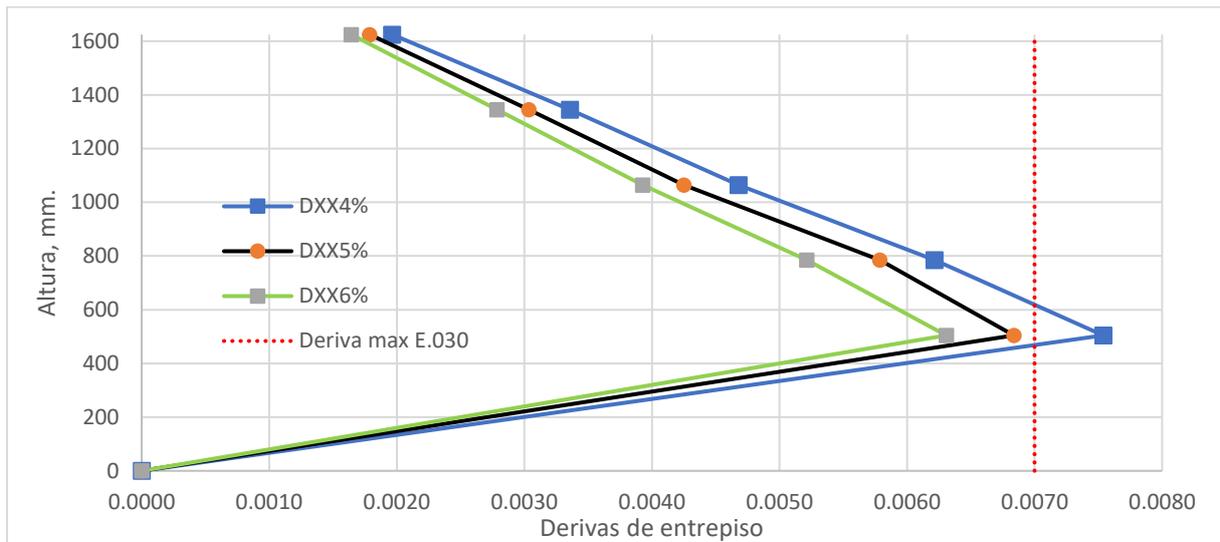
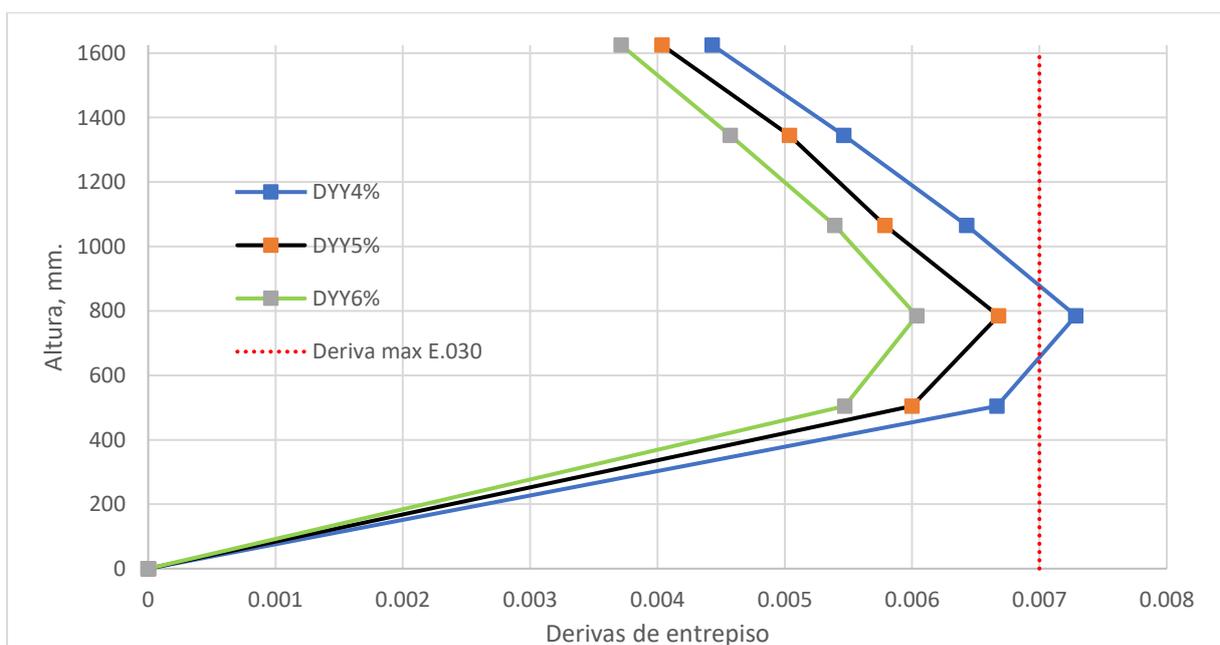


Figura 59

Derivas de entrapiso en Super estructura 1; con distintos amortiguamientos – Dir. YY



Para la Super estructura 2:

Figura 60

Derivas de entrepiso en Super estructura 2; con distintos amortiguamientos – Dir. XX

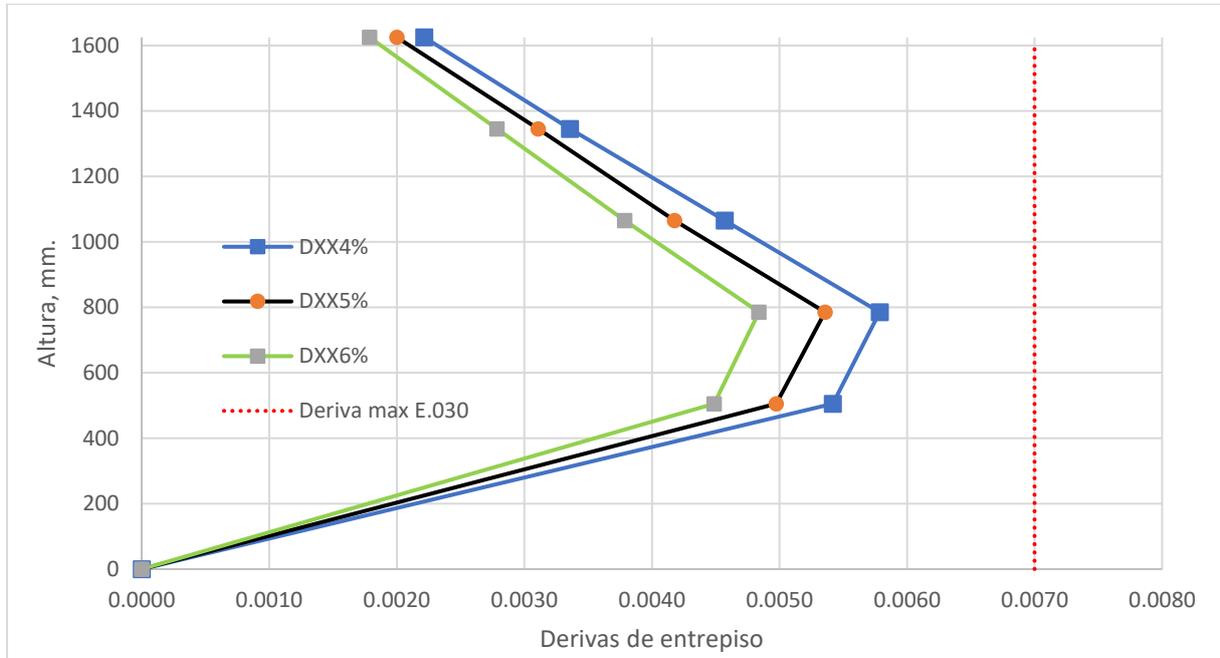
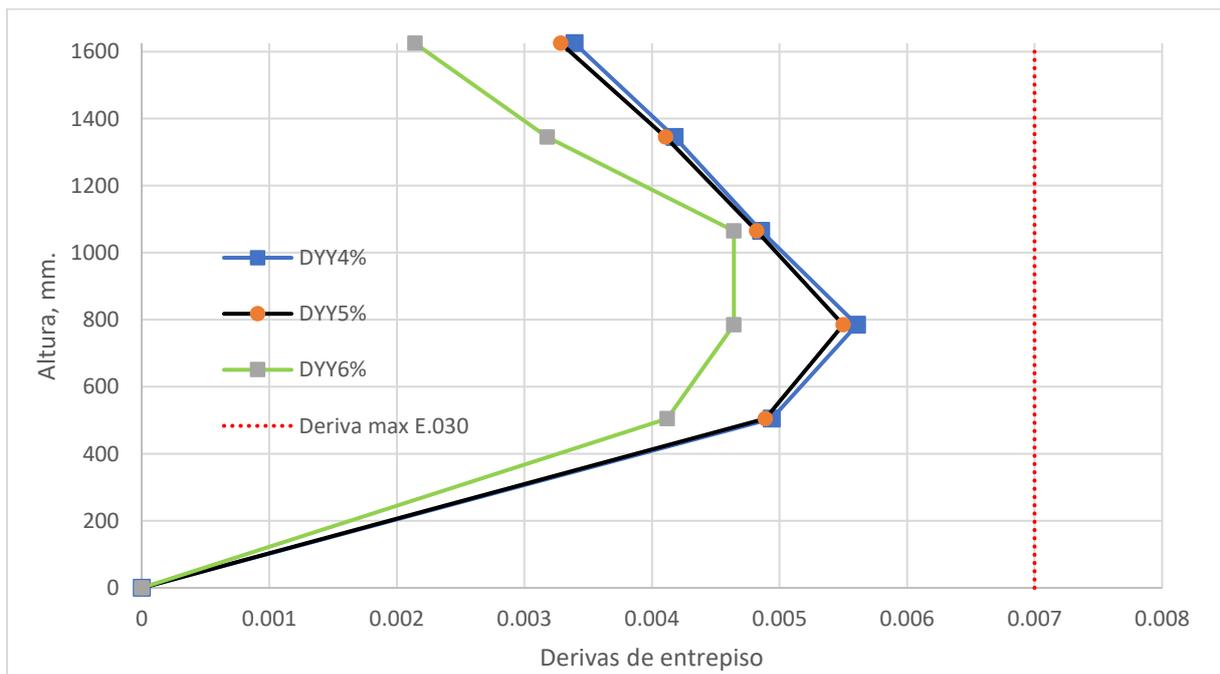


Figura 61

Derivas de entrepiso en Super estructura 2; con distintos amortiguamientos – Dir. YY



Para la Super estructura 3:

Figura 62

Derivas de entrepiso en Super estructura 3; con distintos amortiguamientos – Dir. XX

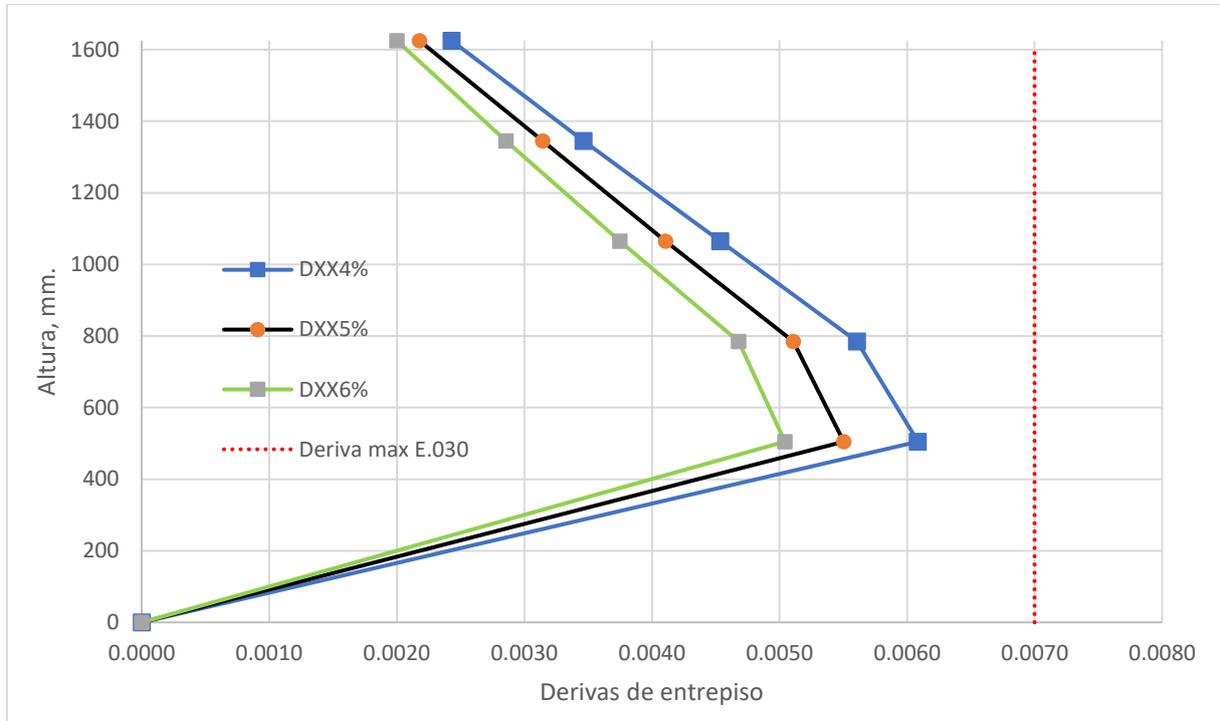
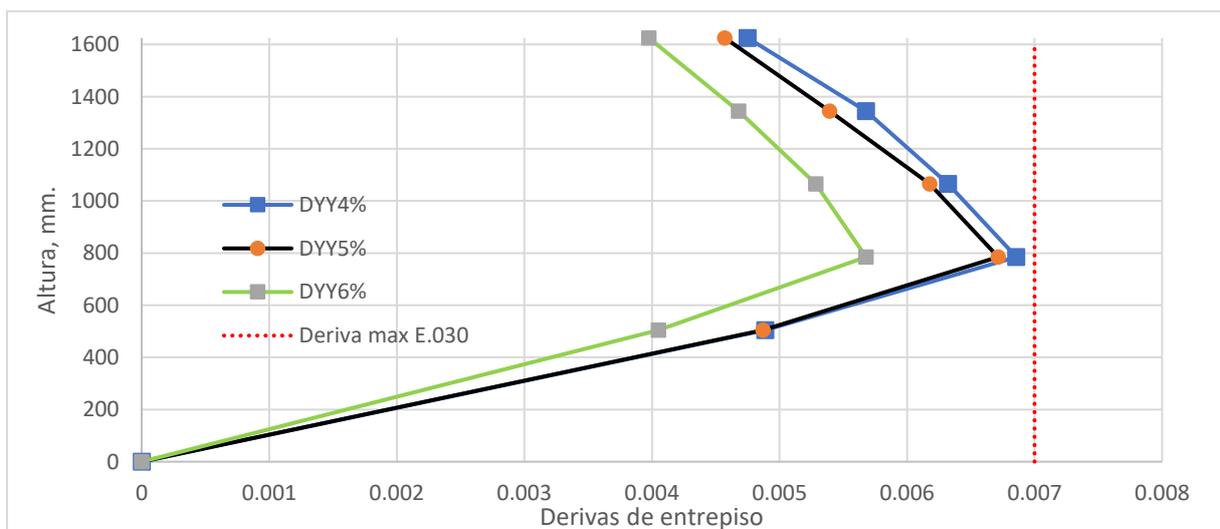


Figura 63

Derivas de entrepiso en Super estructura 3; con distintos amortiguamientos – Dir. YY



4.1.5 Análisis dinámico con diferentes valores de amortiguamiento – Cortantes

Conforme al artículo 29.4.1 de la Norma Técnica Peruana E.030, la fuerza cortante en el primer entrepiso no debe ser inferior al 80 % del valor obtenido según el numeral 4.5 para edificaciones regulares, ni menor al 90 % en el caso de estructuras irregulares. En caso de que el cortante calculado no cumpla con estos mínimos, será necesario escalar proporcionalmente todos los resultados obtenidos —exceptuando los desplazamientos— a fin de asegurar la consistencia del diseño estructural con los requisitos normativos.

Para la Super estructura 1:

Figura 64

Cortantes de entrepiso en Super estructura 1 - sismo dinam. 4%

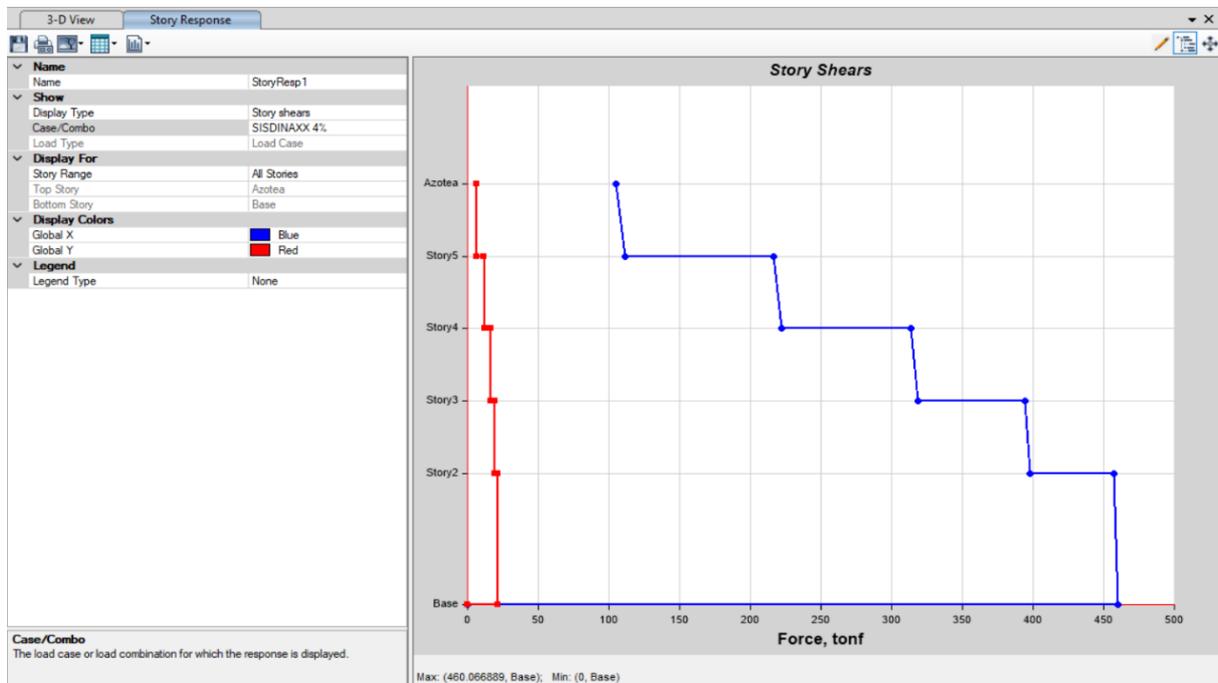


Tabla 10

Cortantes para el amortiguamiento del 4% Super estructura 1.

Vb-Tn.	Vb-Tn.	V1-Tn.	Condición
Vb	0.80Vb	V1	V1 > 0.80Vb

460.07 368.06 398.10 OK!

Figura 65

Cortantes de entrepiso en Super estructura 1 - sismo dinam. 5%

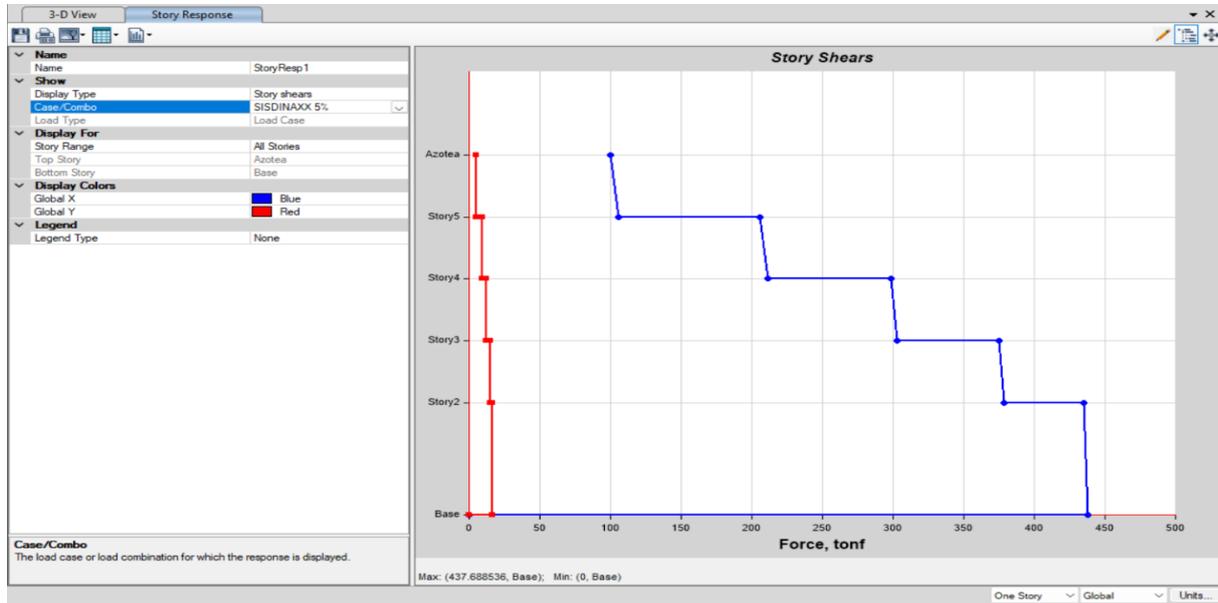


Tabla 11

Cortantes para el amortiguamiento del 5% Super estructura 1.

Vb-Tn.	Vb-Tn.	V1-Tn.	Condición
Vb	0.80Vb	V1	$V1 > 0.80Vb$

437.69 350.15 378.69 OK!

Figura 66

Cortantes de entrepiso en Super estructura 1 - sismo dinam. 6%

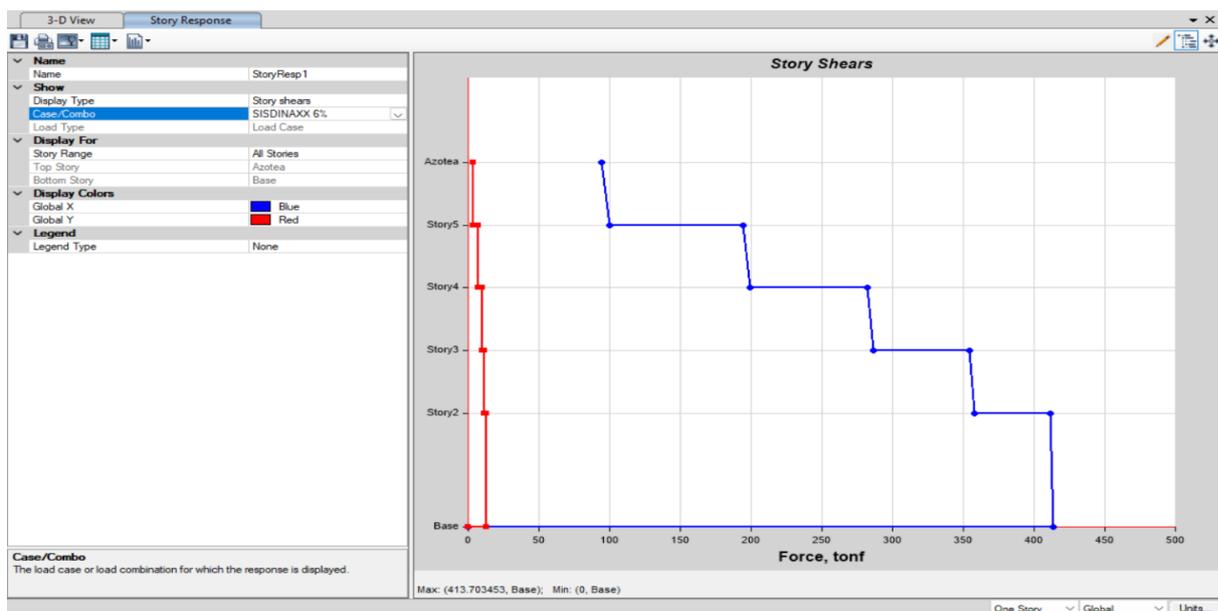


Tabla 12

Cortantes para el amortiguamiento del 6% Super estructura 1.

Vb-Tn.	Vb-Tn.	V1-Tn.	Condición
Vb	0.80Vb	V1	V1>0.80Vb
413.70	330.96	357.89	OK!

Para la Super estructura 2:

Figura 67

Cortantes de entrepiso en Super estructura 2 - sismo dinam. 4%

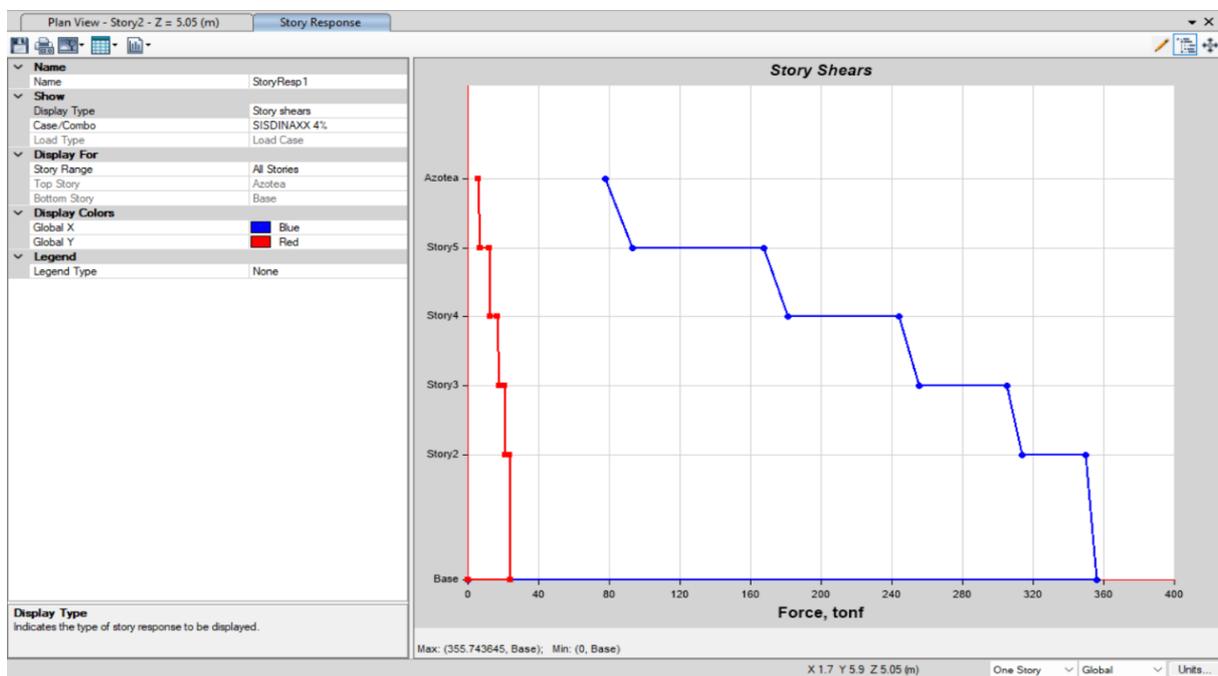


Tabla 13

Cortantes para el amortiguamiento del 4% Super estructura 2.

Vb-Tn.	Vb-Tn.	V1-Tn.	Condición
Vb	0.80Vb	V1	V1>0.80Vb
355.75	284.60	313.80	OK!

Figura 68

Cortantes de entrepiso en Super estructura 2 - sismo dinam. 5%

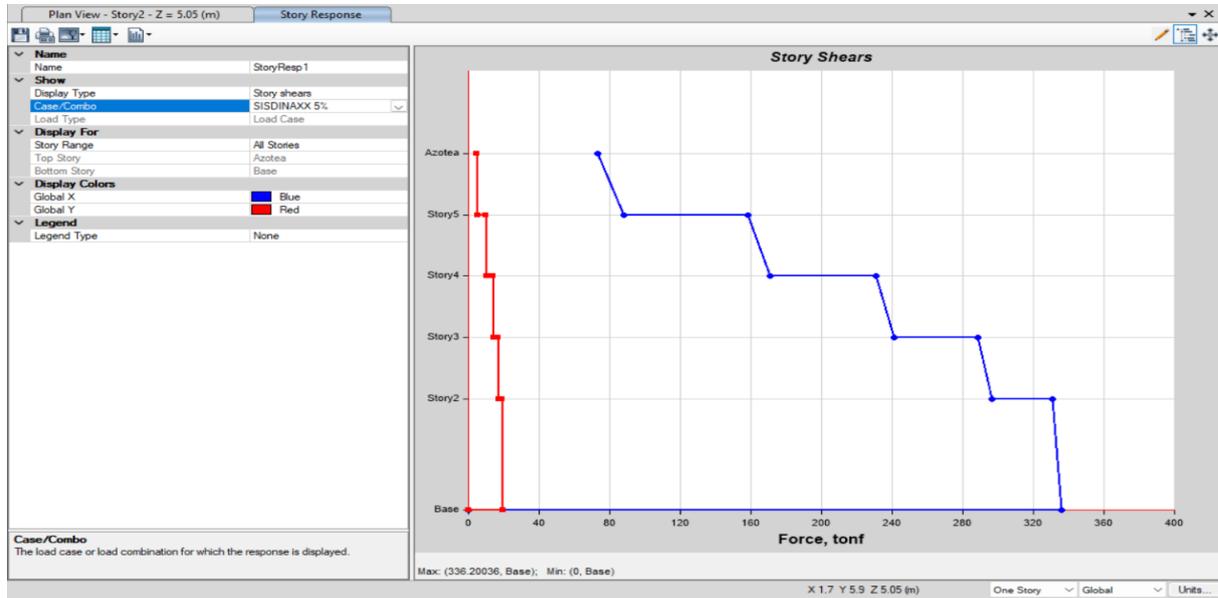


Tabla 14

Cortantes para el amortiguamiento del 5% Super estructura 2.

Vb-Tn.	Vb-Tn.	V1-Tn.	Condición
Vb	0.80Vb	V1	$V1 > 0.80Vb$
336.20	268.96	296.51	OK!

Figura 69

Cortantes de entrepiso en Super estructura 2 - sismo dinam. 6%

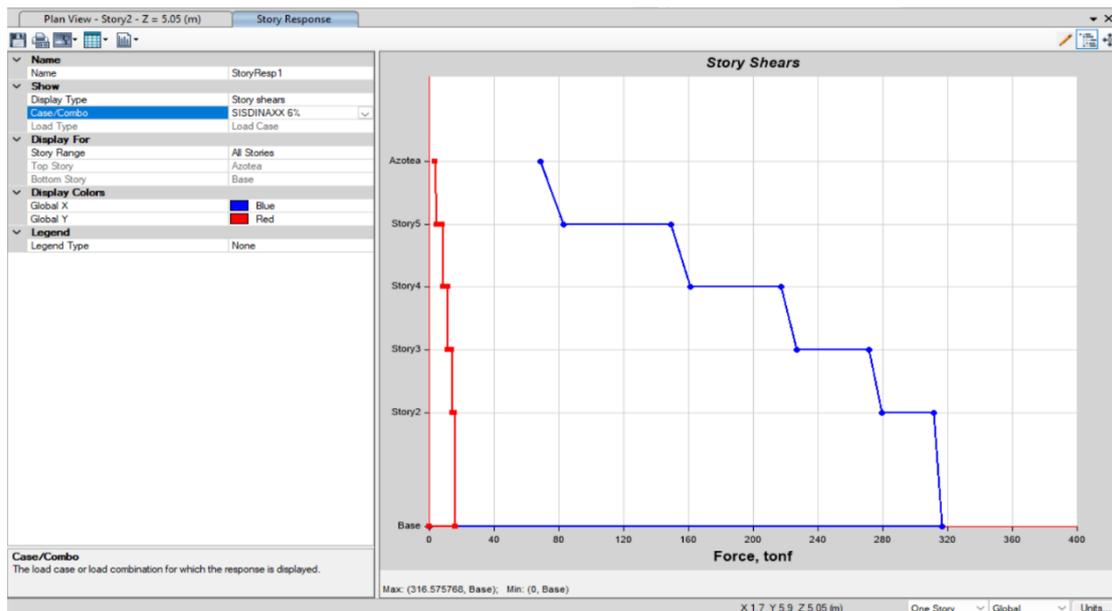


Tabla 15

Cortantes para el amortiguamiento del 6% Super estructura 2.

Vb-Tn.	Vb-Tn.	V1-Tn.	Condición
Vb	0.80Vb	V1	
316.58	253.26	279.15	OK!

Para la Super estructura 3:

Figura 70

Cortantes de entrepiso en Super estructura 3 - sismo dinam. 4%

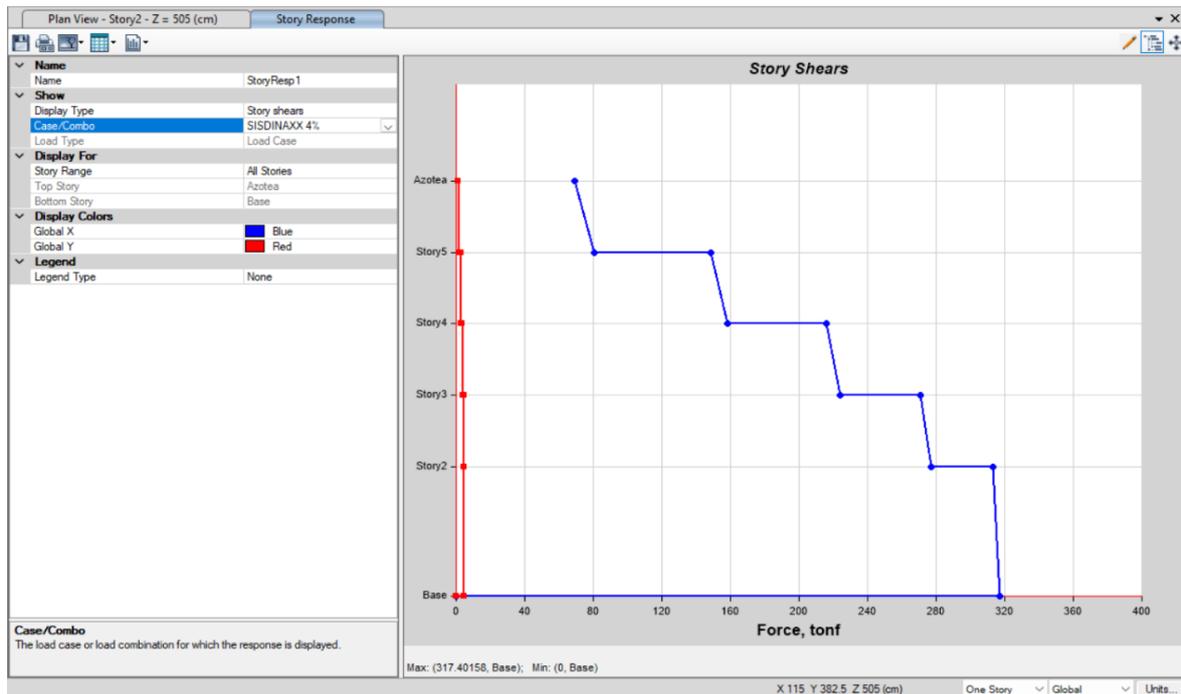


Tabla 16

Cortantes para el amortiguamiento del 4% Super estructura 3.

Vb-Tn.	Vb-Tn.	V1-Tn.	Condición
Vb	0.80Vb	V1	
317.40	253.92	277.06	OK!

Figura 71

Cortantes de entrepiso en Super estructura 3 - sismo dinam. 5%

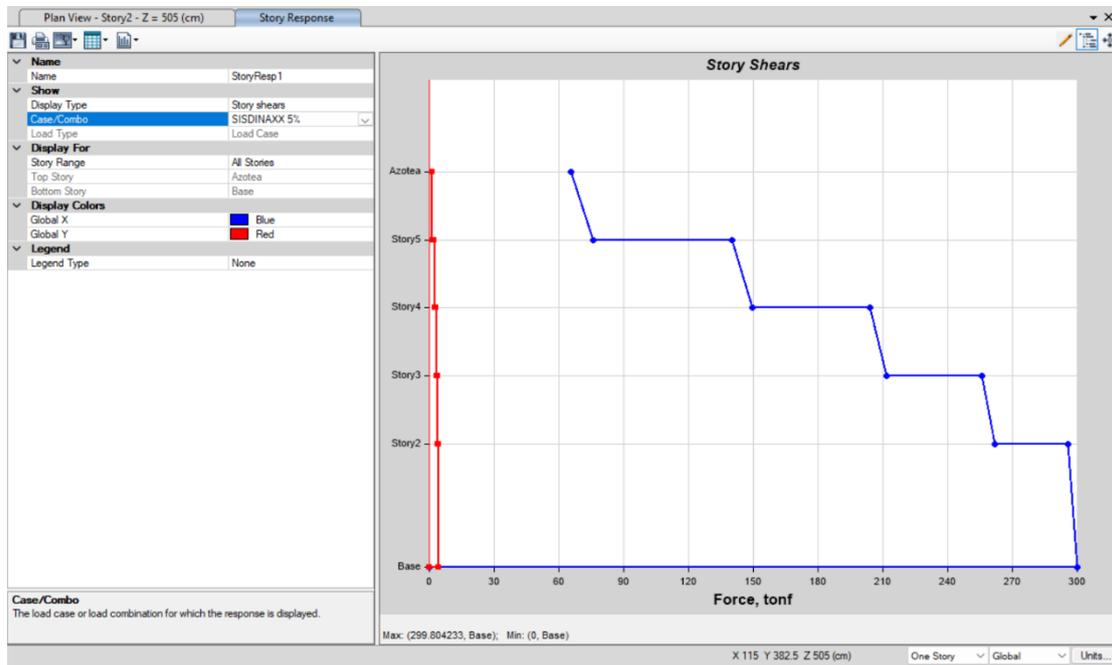


Tabla 17

Cortantes para el amortiguamiento del 5% Super estructura 3.

Vb- Tn.	Vb- Tn.	V1- Tn.	Condición
Vb	0.80Vb	V1	$V1 > 0.80Vb$
299.80	239.84	261.66	OK!

Figura 72

Cortantes de entrepiso en Super estructura 3 - sismo dinam. 6%

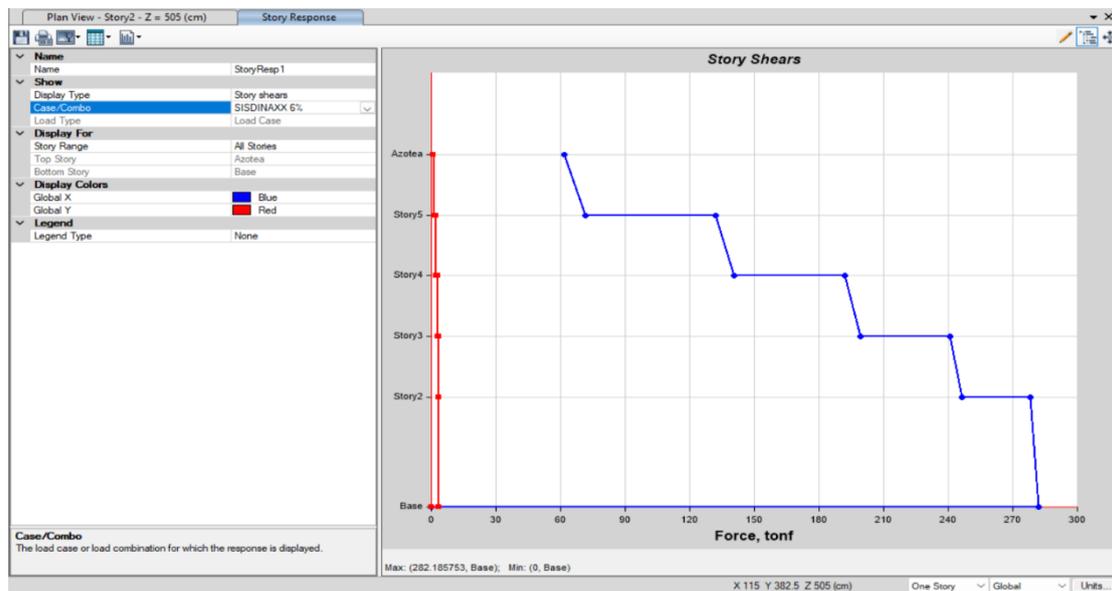


Tabla 18

Cortantes para el amortiguamiento del 6% Super estructura 3.

Vb- Tn.	Vb- Tn.	V1- Tn.	Condición
Vb	0.80Vb	V1	V1>0.80Vb
282.19	225.75	246.24	OK!

4.1.6 Contrastación de hipótesis

La hipótesis general planteaba que la variación del coeficiente de amortiguamiento incide de manera significativa en la respuesta sísmica de la edificación, modificando tanto los espectros de respuesta como la demanda estructural, en concordancia con lo estipulado por la Norma Técnica Peruana E.030. Esta premisa se valida mediante el análisis de los espectros de diseño presentados en las figuras 53, 54 y 55, donde se observa una clara variación en la respuesta dinámica del sistema en función del nivel de amortiguamiento considerado. La modelación computacional, basada en una relación logarítmica entre el coeficiente de amplificación sísmica (C) y el porcentaje de amortiguamiento, refuerza esta tendencia y respalda cuantitativamente la hipótesis formulada.

Contrastación de hipótesis específicas

Hipótesis específica 1: Un coeficiente de amortiguamiento del 4% genera derivas mayores en comparación con el 5%, sin exceder los valores límite de la normativa.

El análisis de las derivas de entrepiso indica que, con un amortiguamiento del 4%, las deformaciones experimentadas por la estructura son más elevadas en comparación con el 5%. Esto es evidente en la superestructura 1, donde la deriva máxima registrada es de 0.0028 en X y 0.0033 en Y para el 4%, frente a 0.0024 en X y 0.0029 en Y para el 5% (figuras 58 y 59). Sin embargo, estos valores permanecen dentro de los rangos admisibles establecidos por la normativa, sin comprometer la estabilidad estructural ni generar riesgo de colapso.

Hipótesis específica 2: Un coeficiente de amortiguamiento del 6% reduce las derivas, pero puede afectar la demanda de cortante basal.

Los resultados obtenidos evidencian que al incrementar el amortiguamiento al 6%, se produce una reducción en las derivas de entrepiso en comparación con los valores correspondientes al 5%, lo cual se atribuye a una mayor capacidad del sistema para disipar energía. Por ejemplo, en la Superestructura 2, la deriva en la dirección X se redujo de 0.0024 (para un 5% de amortiguamiento) a 0.0021 (con 6%), y en la dirección Y disminuyó de 0.0029

a 0.0026, conforme se observa en las figuras 58 a 63. No obstante, esta mejora en el control de desplazamientos está asociada a un aumento en la demanda de cortante basal. En la Superestructura 3, por ejemplo, la fuerza cortante se incrementó de 246.24 kN con 6% de amortiguamiento, frente a 261.66 kN registrados con 5%, lo que refleja una redistribución de esfuerzos internos en la estructura.

Hipótesis específica 3: El factor de modificación de demanda (DMF) incrementa con el aumento del amortiguamiento, alterando la respuesta dinámica de la estructura.

El análisis evidencia que el Factor de Modificación de Demanda (DMF) muestra una relación directamente proporcional con el aumento del amortiguamiento. En el caso de la Superestructura 2, se observa una variación de aproximadamente 8% en los valores de amplificación de desplazamiento entre los niveles de amortiguamiento del 4%, 5% y 6%. Este comportamiento indica que la rigidez relativa de la estructura influye en la redistribución de las cargas inerciales, lo cual afecta significativamente la respuesta dinámica del edificio y la eficiencia del sistema estructural en la disipación de energía sísmica.

La contrastación de hipótesis confirma que la variación del coeficiente de amortiguamiento tiene un impacto significativo en la respuesta sísmica del edificio. Si bien el 5% sigue siendo un valor representativo según la normativa, en algunas condiciones podría ser recomendable un ajuste hacia el 4%, dado que proporciona un diseño más conservador sin exceder los límites normativos. Por otro lado, aunque el 6% mejora el control de las derivas, puede afectar la distribución de esfuerzos internos, lo que debe considerarse en el diseño estructural.

4.2 Discusión de resultados

A partir de los resultados obtenidos en la evaluación del porcentaje ideal de amortiguamiento de una edificación de 5 niveles ubicada en Av. Ferrocarril N°2610, distrito de El Tambo, provincia de Huancayo, se evidenció que la variación del coeficiente de amortiguamiento influye significativamente en la respuesta sísmica del edificio. La evaluación consideró los parámetros estructurales y normativos como factor de suelo ($Z=0.35$), factor de uso ($U=1$), factor de suelo ($S=1.2$), periodo de vibración ($T_p=0.53$), coeficiente de reducción ($R_x=7$, $R_y=7$), coeficiente de amplificación sísmica ($C_x=2.5$, $C_y=2.5$), y sistemas estructurales correspondientes a un sistema dual ($R=7$) y muros estructurales ($R=6$). La edificación fue modelada dividiéndola en tres partes, separadas por juntas sísmicas de espesor de 5 cm.

El análisis evidenció que el porcentaje de amortiguamiento del 4% presenta derivas conservadoras en comparación con el 5%, establecido por la Normativa Peruana. Este hallazgo concuerda con las investigaciones de Muriel (2019), quien demostró que un incremento en el amortiguamiento genera mayores desplazamientos en los ejes X y Y, aunque sin exceder los valores límites normativos. Además, Casaverde (2019) identificó que aplicar un solo factor de modificación para todo el espectro podría generar errores en el diseño estructural, destacando que un amortiguamiento del 4% es una opción viable para garantizar la estabilidad estructural.

Por otro lado, Soto (2021) concluyó que, a menor amortiguamiento, se presentan mayores desplazamientos, lo que coincide con los hallazgos del presente estudio. De manera similar, Castillo (2020) demostró que las estructuras con aisladores de alto amortiguamiento presentan mejor desempeño en términos de reducción de derivas y estabilidad estructural.

El análisis del cortante de diseño mostró que, para un porcentaje de amortiguamiento del 4%, el cortante basal obtenido fue de 460.07 Ton, lo que implica un diseño sísmico conservador adverso a las solicitaciones sísmicas. Este resultado es consistente con las investigaciones de Machuca et al. (2018), quienes evaluaron la implementación de amortiguadores de masa sintonizada (AMS) y evidenciaron que una mayor disipación de energía influye en la respuesta sísmica reduciendo las derivas, pero puede afectar la demanda de cortante basal.

Asimismo, Marulanda et al. (2023) lograron que un techo de aislamiento funcionara como un TMD, demostrando que estrategias de disipación de energía bien diseñadas pueden mejorar la estabilidad estructural sin afectar de manera significativa la capacidad resistente del sistema.

Los resultados concuerdan con el estudio de Mendoza (2019), quien evaluó el uso de amortiguamiento viscoso no lineal y determinó que permite obtener espectros de respuesta optimizados en función del movimiento sísmico de diseño. Además, la investigación de Romero (2020) concluyó que la no linealidad geométrica influye directamente en el comportamiento estructural, un factor que debe considerarse en el análisis dinámico de edificaciones.

A nivel experimental, Espinoza et al. (2021) evidenciaron que un 10% de incertidumbre en el diseño produce variaciones en la razón de sintonía de hasta un 7%, lo que resalta la importancia de establecer parámetros adecuados para el amortiguamiento estructural.

La presente investigación valida la hipótesis general de que la variación del coeficiente de amortiguamiento influye en la respuesta sísmica del edificio, afectando los espectros de respuesta y la demanda estructural. La reducción del amortiguamiento al 4% es viable sin comprometer la estabilidad estructural, mientras que el incremento al 6% mejora el control de derivas, pero puede generar alteraciones en la demanda de cortante basal.

Los resultados obtenidos son coherentes con estudios previos y evidencian la necesidad de considerar el amortiguamiento como un factor clave en el diseño sismorresistente.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

1. *Conclusión para el objetivo general.* Se determinó que la variación del coeficiente de amortiguamiento influye significativamente en la respuesta sísmica de la edificación de 5 niveles en El Tambo – Huancayo. En particular, el amortiguamiento del 4% presenta un comportamiento conservador respecto al 5% especificado en la Normativa Peruana, ya que, aunque en la figura N°60 la deriva para el 4% excede ligeramente la norma, este valor no compromete la estabilidad estructural ni indica riesgo de colapso.
2. *Conclusión para el objetivo específico 1.* Se puede analizar los espectros de respuesta para los valores de amortiguamiento del 4%, 5% y 6%, los cuales pueden servir como referencia para futuras investigaciones sobre amortiguamiento estructural. Los registros sísmicos utilizados fueron escalados y ajustados al tipo de suelo del distrito de El Tambo, permitiendo un análisis representativo de la respuesta estructural ante sismos.
3. *Conclusión para el objetivo específico 2.* Las cortantes máximas obtenidas para el cambio de amortiguamientos en la misma estructura del 4%, 5% y 6% son 317.40 toneladas, 299.80 toneladas y 282.19 toneladas respectivamente, lo cual representa una variación del 17.60 toneladas entre las tres en promedio, por lo que la influencia del amortiguamiento en puntos porcentuales varía ligeramente las fuerzas cortantes basales, sin embargo, este estudio demostró que todas de estas variaciones satisfacen las estipulaciones de la NTE E.030. Las derivas de entrepiso siguen la misma secuencia mediante las figuras 62 y 63 se demuestra que esta variación no supera la deriva límite permitida por el código, sin embargo, la tendencia al crecimiento de deriva lo tiene el amortiguamiento del orden de 4%, por lo que la deriva alcanzada con el amortiguamiento normado es el ideal.
4. *Conclusión del objetivo específico 3.* El amortiguamiento normado del 5% se traduce en esfuerzos cortantes estables y derivas de entrepiso en el orden aceptable, la evolución de las derivas de entrepiso en todos los gráficos presentados sigue el patrón de muy conservador para la deriva del amortiguamiento del 6% y menos conservador para la deriva del amortiguamiento del 4%, quedando entre ambas las derivas obtenidas para el amortiguamiento del 5%.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar estudiando el porcentaje de amortiguamiento para edificaciones con diferentes características, tales como número de niveles, tipo de diseño estructural, resistencia del concreto (f_c), tipo de suelo y forma del terreno, con el objetivo de generar criterios más precisos para la selección del amortiguamiento ideal en distintas condiciones estructurales.
2. Dado que el amortiguamiento del 4% resultó ser una opción conservadora, se recomienda validar su desempeño en otros sistemas estructurales, especialmente en edificaciones de mayor altura o con configuraciones estructurales más complejas.
3. Abordar el estudio del amortiguamiento ideal en estructuras esenciales, pero considerando el efecto de la interacción suelo estructura, al dotar de características amortiguadoras al conglomerado seguramente el amortiguamiento variara, ya que la NTE E.030 asume el empotramiento perfecto de la base de fundación, como es el caso del edificio de la muestra
4. Estudiar la energía disipada en sistemas de acero estructural y evaluar la influencia con el amortiguamiento estructural, ya que desde la literatura se reporta su comportamiento dúctil, es decir que desarrolla grandes lazos histeréticos. Por otro lado, el porcentaje de amortiguamiento utilizado en estos sistemas también es del 5% según la normativa peruana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudelo, J. (2016). *Citicorp Center, el rascacielos que pudo colapsar en la Gran Manzana*.
<https://doi.org/https://estructurando.net/2016/10/18/citicorp-center-el-rascacielos-que-pudo-colapsar/>.
- Agudelo, J. (2016). *Citicorp Center, el rascacielos que pudo colapsar en la Gran Manzana*.
Obtenido de <https://estructurando.net/2016/10/18/citicorp-center-el-rascacielos-que-pudo-colapsar/>
- Alvarado, D. (2024). *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio multifamiliar aislado en el Perú*. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c20e3395-d438-4d0f-a094-85eb1dbf39bc/content>
- Arbizu, M. (2022). *Respuesta Sísmica de una Edificación de 15 Niveles con Amortiguador de Masa Sintonizada en el Distrito Del Tambo-Junin*. Obtenido de <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/4042>
- Ayala, R. (2022). *Mejoramiento de la respuesta dinámica de una edificación de 16 niveles incorporando amortiguadores de masa sintonizada en el distrito de lince*. Obtenido de <https://repositorio.urp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/23d3404d-8dc8-4294-bbd9-9667933faecf/content>
- BBC. (2023). *Los edificios que no deberían haberse derrumbado en el terremoto de Turquía*.
Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-64576935>
- Bullon, D. (2023). *Mejora de la respuesta estructural mediante la implementación de amortiguadores sintonizados en edificaciones de la ciudad de Huancayo 2021*.
Obtenido de https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/9964/T010_73769946_T.pdf
- Carrasco, S. (2019). *Metodología de la investigación científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación*. San Marcos.
- Casaverde, O. (2019). *Espectros de aceleración para diferentes porcentajes de amortiguamiento y su aplicación en el diseño de estructuras industriales*. Obtenido de https://repositorio.uni.edu.pe/bitstream/20.500.14076/20243/1/casaverde_lo.pdf

- Castillo, J. (2020). *Respuesta estructural del bloque "C" del edificio de la nueva sede del Poder Judicial utilizando 3 tipos de aisladores elastoméricos: de bajo amortiguamiento, con núcleo de plomo y de alto amortiguamiento*. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/24732?locale-attribute=en>
- Chopra, N. (2014). *Dinamica de Estructuras*. Pearson.
- Colqui, W. (2018). *Influencia del amortiguamiento en el comportamiento estructural de la Institución Educativa Integrada Puerto Yurinaqui, distrito de Perené, provincia de Chanchamayo, Región Junín*. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/4968/1/IV_FIN_105_TE_Colqui_Ventura_2018.pdf
- Crisafulli, F., & Villafañe, E. (2018). *Espectros de respuesta y de diseño*. Obtenido de <https://aulaabierta.ingenieria.uncuyo.edu.ar/pluginfile.php/45339/course/section/1798/ISR-GE2-Espectros-2018.pdf>
- Espinoza, G., Neira, D., & Cifuentes, A. (2018). *Análisis de un amortiguador de masa sintonizado óptimo en estructuras asimétricas no lineales*. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132018000100039
- Espinoza, G., Quintero, C., Gajardo, K., Suazo, Á., & Quijada, S. (2021). *Eficiencia de un amortiguador de columna de líquido sintonizado considerando una excitación sísmica de bajo contenido de frecuencias e incertidumbre*. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-28132021000100054
- Ewins, D. (2000). *Modal Testing: Theory, Practice and Application*. Research Studies Press Ltd.
- Giraldo, D. (2022). *Continental Towers deberá ser demolido; estudio concluyó que el edificio no soporta reforzamiento*. Obtenido de <https://www.medellin.gov.co/es/sala-de-prensa/noticias/continental-towers-debera-ser-demolido-estudio-concluyo-que-el-edificio-no-soporta-reforzamiento/#:~:text=%E2%80%9CDesde%20hace%20nueve%20a%C3%B1os%20ya,por%20un%20sismo%2C%20un%20viento>
- Guevara, D., & Torres, P. (2012). *Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal*. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/items/c2092567-1cb4-456a-84e8-056bc56b812a>

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*.
Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- INDECI. (2009). *Lecciones aprendidas del Sur*. Obtenido de <https://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc1259/doc1259-contenido.pdf>
- Infobae. (2023). *Peligrosa construcción en San Juan de Miraflores: edificio de nueve pisos no soportaría un terremoto en Lima*. Obtenido de <https://www.infobae.com/peru/2023/05/29/edificio-en-san-juan-de-miraflores-en-riesgo-de-colapso/>
- Infobae. (2024). *La ciudad de Surfside recordó a los 98 fallecidos a tres años del derrumbe del edificio Champlain Towers South en Miami*. Obtenido de <https://www.infobae.com/estados-unidos/2024/06/24/la-ciudad-de-surfside-recordo-a-los-98-fallecidos-a-tres-anos-del-derrumbe-del-edificio-champlain-towers-south-en-miami/>
- Jiménez, R. (2024). *Diseño sísmico de edificios con amortiguadores viscosos*. Obtenido de <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000853704/3/0853704.pdf>
- Llontop, K. (2023). *Análisis y diseño comparativo entre un edificio con amortiguadores de masa sintonizada y un edificio convencional en la ciudad de Chiclayo*. Obtenido de https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/7314/1/TL_LlontopIzquierdokevin.pdf
- Machuca, N., Maureira, N., & Sanhueza, F. (2018). *Determinación de parámetros óptimos de AMS en un edificio de acero de 28 pisos*. Obtenido de <https://tesis.ucsc.cl/server/api/core/bitstreams/33e8d0f4-3d64-45eb-be96-557e8cfa73c3/content>
- Marulanda, J., Thomson, P., & Tocoche, T. (2023). *Repotenciación sísmica con aislamiento de cubierta como amortiguador de masa sintonizado para edificios académicos*. Obtenido de https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/11179

- Matos, J. (2024). *Influencia de la incorporación de amortiguadores de masa sintonizada en una edificación multifamiliar de 15 pisos con 2 sótanos, ubicado en El Tambo - Huancayo*. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14057/2/IV_FIN_105_TE_Matos_Nu%C3%B1ez_2024.pdf
- Mendoza, I. (2019). *Cocientes de espectros de respuesta para sistemas con amortiguamiento viscoso no lineal en distintas zonas de la Ciudad de México*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1-TGKyGma-HZ5PThGCgm4vZDbr9NldW13/view>
- Mucha, J. (2019). *Evaluación del comportamiento sismorresistente de un centro educativo empleando la norma técnica E.0.30, anterior y la actual vigente*. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/7026/2/IV_FIN_105_TE_Mucha_Camposano_2019.pdf
- Muriel, C. (2019). *Análisis y Diseño Estructural con Interacción Sísmica Suelo – Estructura para una Edificación Multifamiliar en Jayllihuaya – Puno, para un Sismo Moderado, Considerando Amortiguamiento de 6%*. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UANT_838a06c90e77d68ef3a17c887658d3b7
- National Geographic Channel. (2006). *Segundos catastróficos*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Derrumbe_del_edificio_de_las_Tiendas_Sampoong
- Pin, J. (2018). *Amortiguamiento en estructuras*. Obtenido de <https://sites.ipleiria.pt/seismicknowledge/amortiguamiento-en-estructuras/>
- Quispe, L. (2023). *Evaluación del nivel de desempeño sísmico considerando la interacción suelo-estructura de un edificio armado de seis pisos*. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/296fffd7-9cb4-439d-9a9b-ceb789a0fc23/content>
- Romero, J. (2020). *Análisis y comportamiento estructural de un edificio aislado en la base con aisladores sísmicos de alto amortiguamiento -HDRB-*. Universidad de los Andes.

- Sánchez, H. R. (2015). *Metodología y Diseños de la Investigación Científica*. Business Support Anneth.
- Seismous. (2018). *Desempeño estructural: un activo para intervenir*. Obtenido de <https://seismous.com/desempeno-estructural-un-activo-para-invertir/#:~:text=El%20desempe%C3%B1o%20estructural%20hace%20referencia,resiliencia%20a%20un%20movimiento%20tel%C3%BArico>
- SENCICO. (2020). *Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Silvestre, I., & Huamán, C. (2019). *Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria*. Obtenido de <https://repositorio.utea.edu.pe/items/58cf2488-eeba-4b5f-ba37-fe8afe9ae3e8>
- Soto, C. (2021). *Análisis sísmico al utilizar 2% y 5% del amortiguamiento estructural en el colegio estatal de Oxamarca, provincia de Celendín - Cajamarca 2020*. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27891>
- Vara, A. (2015). *7 pasos para elaborar una tesis*. Macro.

ANEXOS

Anexo 1
Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Metodología
¿Cuál es el efecto de la variación del porcentaje de amortiguamiento en la respuesta sísmica de una edificación de 5 niveles en El Tambo – Huancayo, según la Norma Técnica Peruana E.030?	Determinar el efecto de la variación del porcentaje de amortiguamiento en la respuesta sísmica de una edificación de 5 niveles en El Tambo – Huancayo, con base en la Norma Técnica Peruana E.030.	La variación del coeficiente de amortiguamiento influye significativamente en la respuesta sísmica del edificio, afectando los espectros de respuesta y la demanda estructural según la Norma Técnica Peruana E.030.	<p><i>Método de investigación:</i> método científico</p> <p><i>Tipo de investigación:</i> aplicada</p> <p><i>Nivel de investigación:</i> explicativa.</p> <p><i>Diseño de la investigación:</i> no experimental</p> <p><i>Población:</i> Todas las edificaciones de más de 5 niveles del distrito de El Tambo</p> <p><i>Muestra:</i> De ahí que la presente tesis usó como muestra a la edificación de 5 niveles ubicada en Av. Ferrocarril N°2610, El Tambo – Huancayo</p> <p><i>Muestreo:</i> No probabilístico por conveniencia</p> <p>Técnicas de recolección de datos:</p>
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	
a. ¿Cómo varían los espectros de respuesta del edificio considerando coeficientes de amortiguamiento del 4%, 5% y 6%?	a. Analizar los espectros de respuesta del edificio para coeficientes de amortiguamiento del 4%, 5% y 6%.	a. Un coeficiente de amortiguamiento del 4% genera derivas mayores en comparación con el 5%, sin exceder los valores límite de la normativa.	
b. ¿Cómo influye el amortiguamiento en la deriva de entrepiso y el cortante basal?	b. Evaluar la influencia del amortiguamiento en la deriva de entrepiso y el cortante basal.	b. Un coeficiente de amortiguamiento del 6% reduce las derivas, pero puede afectar la demanda de cortante basal.	
c. ¿Cómo se comparan los resultados obtenidos con los valores recomendados por la normativa peruana?	c. Comparar los resultados obtenidos con los valores recomendados por la normativa peruana.	c. El factor de modificación de demanda (DMF) incrementa con el aumento del amortiguamiento, alterando la respuesta dinámica de la estructura.	

Anexo 2
Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ESCALA
Variable independiente: Amortiguamiento	Chopra (2014) afirma que, el amortiguamiento consiste en la disipación de energía de una estructura mecánica y su conversión en calor, en pocos términos la amplitud de vibración disminuye de manera constante. Existe varios mecanismos, de ellas sobresale Coulomb y viscosa	Se medirá el comportamiento sísmico de una edificación de 5 niveles empleando un amortiguamiento de 4%, 5% y 6%.	D1: Porcentaje de amortiguamiento	I1: 4% I2: 5% I3: 6%	Ficha de recolección de datos	Razón
Variable dependiente: Comportamiento estructural sísmico	El comportamiento estructural corresponde al análisis de la capacidad que tiene la estructura de soportar un movimiento sísmico (4). Esto se logra mediante la evaluación de las fuerzas y desplazamientos	Se medirá el comportamiento estructural a través de los espectros, desplazamiento y DMF de la edificación de 5 niveles.	D1: Evaluación sísmica de la edificación de 5 niveles	I1: Espectros I2: Desplazamientos I3: DMF	Memoria de calculo	Razón

Tabla A1*Registro de aceleraciones en el tiempo, Huaraz 1970.*

Period [sec]	Damp.=4.0%	Damp.=5.0%	Damp.=6.0%
0	105.0536	105.0536	105.0536
0.05	119.13489	115.41163	113.39935
0.1	351.10926	310.87638	280.94931
0.15	342.94545	313.51593	288.11484
0.2	220.20708	201.11422	185.89669
0.25	323.0103	288.81776	262.44759
0.3	263.54272	249.11023	233.22558
0.35	272.8889	251.45774	233.32316
0.4	189.27772	170.06223	159.94386
0.45	220.39033	195.35428	177.81391
0.5	129.34534	119.36699	110.96688
0.55	145.74061	133.15234	124.93477
0.6	155.71931	141.5117	129.5175
0.65	132.41839	120.74226	110.99059
0.7	151.84181	135.46217	122.87151
0.75	133.51602	124.36503	116.30213
0.8	109.51928	102.69358	96.44285
0.85	77.63401	74.9189	72.46282
0.9	64.29546	59.65642	55.514
0.95	53.80633	50.59452	47.50078
1	55.72024	52.05286	49.0423
1.05	57.99058	54.43458	50.92092
1.1	61.61344	54.69088	49.32597
1.15	50.67073	47.30664	44.54574
1.2	45.43618	43.86092	42.22994
1.25	41.39453	40.42907	39.33397
1.3	47.40319	42.65519	38.82864
1.35	50.42846	44.28851	39.65132
1.4	41.59436	36.70646	33.18308
1.45	34.14497	32.10077	30.00649
1.5	28.6983	27.54784	26.33574
1.55	30.05777	27.62063	25.70733
1.6	30.87599	28.0784	25.92371
1.65	27.15779	25.5568	23.99005
1.7	24.05313	22.90293	21.82459
1.75	20.41025	20.06311	19.59517
1.8	19.15566	18.88468	18.33616
1.85	21.03023	19.25442	17.88684
1.9	21.15062	19.36151	18.00035
1.95	21.21068	19.42226	17.91721
2	20.93097	19.50988	18.7463

2.05	22.73303	21.69579	20.64564
2.1	25.97956	24.07165	22.43404
2.15	27.95769	25.36699	23.27956
2.2	27.27502	24.67804	22.57649
2.25	24.42122	22.43551	20.78752
2.3	20.8748	19.53165	18.31856
2.35	18.22911	17.15975	16.13494
2.4	17.19779	16.41248	15.60461
2.45	16.64403	15.80663	15.01297
2.5	16.26412	15.26934	14.38987
2.55	15.52132	14.47575	13.58564
2.6	14.15294	13.1796	12.38505
2.65	12.94944	12.19097	11.53346
2.7	13.09342	12.22141	11.45824
2.75	13.02368	12.10399	11.44832
2.8	12.7555	12.11743	11.56768
2.85	12.69616	12.03866	11.48677
2.9	12.35442	11.71277	11.17789
2.95	11.83256	11.16966	10.68178
3	11.24923	10.62201	10.06085
3.05	10.5919	9.97186	9.48954
3.1	9.84965	9.36466	8.92211
3.15	8.96605	8.63521	8.3202
3.2	8.02504	7.85234	7.66859
3.25	7.24388	7.08246	7.02187
3.3	7.07293	6.7322	6.42759
3.35	7.23935	6.78927	6.33209
3.4	7.55979	6.90076	6.32191
3.45	7.84741	7.00856	6.34017
3.5	8.02902	7.0751	6.59653
3.55	7.93366	7.20659	6.74808
3.6	8.01777	7.33536	6.84347
3.65	8.01838	7.44817	6.91744
3.7	8.2364	7.58078	6.98672
3.75	8.50327	7.93667	7.44692
3.8	9.25506	8.51427	7.88888
3.85	9.79562	8.89809	8.16397
3.9	10.35983	9.47942	8.79217
3.95	11.08364	10.06656	9.24809
4	11.47822	10.3653	9.47623

Tabla A2*Registro de aceleraciones en el tiempo, Lima 1974.*

Period [sec]	Damp.=4.0%	Damp.=5.0%	Damp.=6.0%
0	194.2053	194.2053	194.2053
0.05	233.64774	231.54476	229.51663
0.1	498.8425	463.03192	433.06721
0.15	382.39148	371.87297	365.83938
0.2	466.96773	444.74165	423.18963
0.25	478.93574	446.91656	420.5717
0.3	470.84296	424.25606	406.18148
0.35	424.4138	392.68596	366.78679
0.4	378.03442	360.98258	345.40471
0.45	503.30726	456.80984	417.3134
0.5	370.7946	328.58708	305.54263
0.55	326.37435	317.97903	306.90902
0.6	337.50191	313.54813	293.08408
0.65	326.96813	298.04854	277.61116
0.7	261.92351	254.92645	246.534
0.75	294.46393	271.08214	252.02451
0.8	225.45331	214.87039	204.73479
0.85	219.43147	193.69324	173.96445
0.9	171.13651	161.30106	152.67393
0.95	146.65771	138.72878	131.75045
1	146.75488	138.64102	131.13402
1.05	142.91074	132.44567	123.505
1.1	132.82273	123.48289	115.43761
1.15	124.68912	115.65015	108.54437
1.2	103.5565	100.5005	96.76746
1.25	102.74569	98.77914	95.51758
1.3	104.55461	99.9278	95.80347
1.35	98.28817	95.19064	91.96009
1.4	96.36578	91.91007	88.09275
1.45	90.65972	83.87813	80.27421
1.5	77.61614	72.67722	68.97291
1.55	73.53259	68.16567	64.2568
1.6	76.16571	69.8509	64.6856
1.65	75.51864	69.59497	64.72411
1.7	74.43633	68.39358	63.78988
1.75	86.24478	77.50516	70.65028
1.8	84.93466	76.37199	69.68787
1.85	71.81845	65.71648	60.88789
1.9	59.67208	55.45669	51.9673
1.95	53.46889	50.29155	47.53895
2	46.11033	44.30137	42.60151

2.05	42.76374	39.8422	38.04866
2.1	41.87169	40.79916	40.4455
2.15	47.06708	44.13625	42.96828
2.2	50.76456	46.7019	44.99077
2.25	50.96832	48.23608	46.13106
2.3	51.55633	48.72003	46.20554
2.35	50.87816	47.82264	45.19079
2.4	48.35688	45.2506	42.65184
2.45	44.91042	41.02589	38.82609
2.5	43.62016	39.32978	35.77243
2.55	41.80804	37.65303	34.28239
2.6	38.53336	35.28483	33.02345
2.65	35.09248	32.87103	30.90533
2.7	31.96391	29.78574	28.2118
2.75	28.28232	26.48938	25.07295
2.8	26.83026	25.28445	23.87192
2.85	27.02997	25.47556	24.05815
2.9	26.94418	25.34006	23.91744
2.95	26.47624	24.92682	23.52684
3	25.59833	24.0921	22.7903
3.05	24.27872	22.93482	21.73155
3.1	22.73099	21.44045	20.95354
3.15	21.32698	20.80819	20.58625
3.2	20.90434	20.34945	20.15609
3.25	20.11	19.82581	19.69432
3.3	19.32181	19.27086	19.21277
3.35	18.68051	18.72372	18.74186
3.4	18.09277	18.22401	18.31328
3.45	17.7105	17.80751	17.95576
3.5	18.32977	17.50285	17.6924
3.55	18.88561	17.83657	17.53892
3.6	19.75791	18.59308	17.53698
3.65	20.42836	19.14375	17.98554
3.7	20.93059	19.53143	18.4878
3.75	22.03798	20.67282	19.45154
3.8	23.16179	21.6043	20.24534
3.85	24.9644	22.45173	20.92341
3.9	26.30903	23.07254	21.272
3.95	26.75923	23.64591	21.43856
4	28.97296	25.30498	22.53452

Tabla A3*Registro de aceleraciones en el tiempo, Lima 1996.*

Period [sec]	Damp.=4.0%	Damp.=5.0%	Damp.=6.0%
0	180.5601	180.5601	180.5601
0.05	238.17854	236.08999	233.69019
0.1	648.64257	571.49411	510.25486
0.15	447.06017	409.7613	376.01461
0.2	428.52687	401.24825	375.82038
0.25	462.81347	422.1516	393.17659
0.3	627.94646	549.69196	489.44806
0.35	323.8802	305.26836	289.01319
0.4	272.04649	261.53775	252.36271
0.45	367.751	340.18946	316.58289
0.5	282.81083	260.38768	256.78562
0.55	305.7312	290.46212	277.63014
0.6	290.44511	275.88386	262.06899
0.65	199.56311	195.36533	191.57306
0.7	146.04683	146.53511	145.98179
0.75	140.28641	128.31426	126.53572
0.8	124.46004	114.0626	110.62097
0.85	94.02057	94.58138	94.46658
0.9	99.11357	93.91069	90.12401
0.95	104.71203	92.92674	83.62271
1	90.07199	80.8201	77.57131
1.05	82.93752	77.20872	73.88963
1.1	75.60869	69.61154	65.17342
1.15	59.28967	55.38221	52.67358
1.2	43.67172	43.41689	42.71065
1.25	39.27975	38.13012	37.33395
1.3	42.46122	37.40972	33.99501
1.35	45.90438	43.39477	41.2709
1.4	60.18896	54.12461	49.2854
1.45	63.50811	56.74942	51.30812
1.5	59.25371	53.29686	48.36723
1.55	48.16261	44.08079	40.99932
1.6	37.02385	32.98479	32.91518
1.65	34.24853	31.81156	30.15479
1.7	33.56303	31.26255	29.52807
1.75	31.01516	29.4013	28.3638
1.8	29.92579	28.25839	27.13772
1.85	28.56924	27.11687	25.81541
1.9	28.07987	26.88235	25.85899
1.95	31.03365	29.08232	27.68908
2	33.99437	31.93648	30.24744

2.05	35.87149	33.46953	31.53331
2.1	34.79145	32.86785	31.22629
2.15	32.63765	31.16902	29.81147
2.2	30.89936	29.71989	28.5181
2.25	29.67468	28.35888	27.1761
2.3	28.59034	26.87074	25.49031
2.35	27.61995	25.93247	24.5215
2.4	25.12233	23.80911	22.7851
2.45	21.62454	20.99239	20.45284
2.5	19.13986	18.73241	18.3934
2.55	18.78948	18.5064	18.23201
2.6	18.40806	18.34176	18.21273
2.65	18.36132	18.38995	18.32257
2.7	18.80866	18.76239	18.63943
2.75	19.65082	19.39129	19.1168
2.8	20.59882	20.0768	19.61602
2.85	21.3512	20.58353	19.97228
2.9	21.66547	20.7535	20.0605
2.95	21.5824	20.55564	19.86197
3	24.07302	22.74333	21.70713
3.05	26.25499	24.64577	23.30741
3.1	27.69351	25.919	24.5948
3.15	29.07159	27.45785	26.0697
3.2	30.26566	28.5914	27.11008
3.25	31.0022	29.28741	27.7421
3.3	31.46147	29.67216	28.09289
3.35	31.9575	30.10197	28.40156
3.4	32.14408	30.19132	28.451
3.45	32.05533	29.99335	28.18458
3.5	32.18115	29.94401	27.96796
3.55	32.81009	29.52695	27.53998
3.6	33.12992	29.73797	26.98041
3.65	32.65146	29.23826	26.59735
3.7	31.96261	28.59061	26.08517
3.75	31.04918	27.73917	25.36127
3.8	29.69537	26.95631	24.85552
3.85	28.46473	26.18026	24.20451
3.9	27.21186	25.01519	23.18887
3.95	25.64288	23.67721	22.0097
4	23.86284	22.12448	20.65007

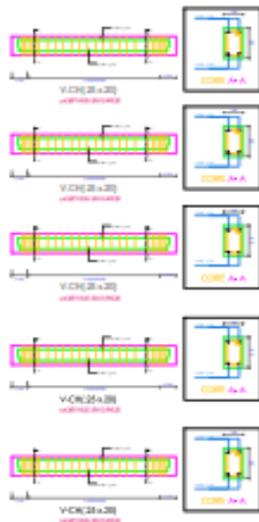
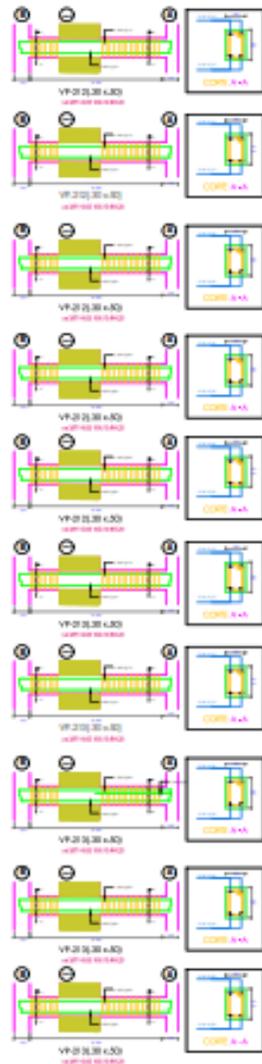
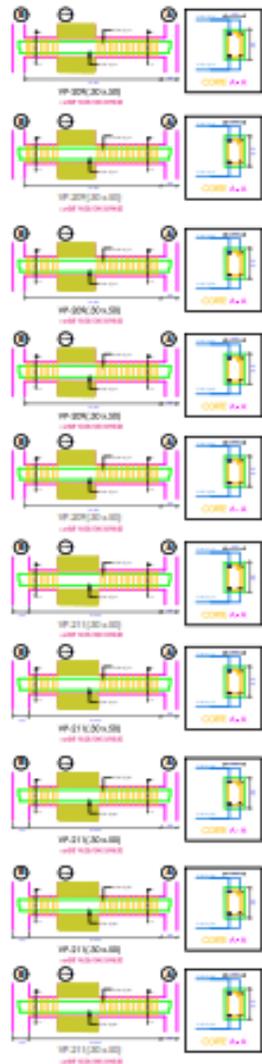
Tabla A4*Registro de aceleraciones en el tiempo, Ica 2007.*

Period [sec]	Damp.=4.0%	Damp.=5.0%	Damp.=6.0%
0	272.821	272.821	272.821
0.05	288.57781	284.85897	282.5188
0.1	286.08227	282.96357	281.90766
0.15	709.74583	665.33792	626.24096
0.2	624.66004	594.03536	567.59436
0.25	682.92109	662.41801	635.85443
0.3	668.16144	625.15665	592.67077
0.35	653.95276	601.14679	570.83738
0.4	682.52239	643.49039	613.6988
0.45	981.56926	881.56752	802.30224
0.5	670.20638	634.13616	604.31156
0.55	508.10056	513.01379	514.42616
0.6	606.98513	595.89986	583.97888
0.65	741.23256	705.92776	673.59976
0.7	945.49624	877.72247	819.11208
0.75	940.2266	873.75861	814.25198
0.8	782.05654	726.22359	678.77618
0.85	515.74172	494.78093	477.98736
0.9	534.19316	498.10689	465.96514
0.95	522.83629	485.2368	451.39874
1	557.0026	507.57972	484.68426
1.05	645.57774	601.45161	562.98937
1.1	665.87675	614.68384	569.96486
1.15	601.38771	552.40404	511.30275
1.2	510.93362	479.53107	452.78244
1.25	403.64148	388.98565	375.85572
1.3	317.15958	312.43359	307.84793
1.35	270.09667	266.78212	262.55665
1.4	267.76445	261.01555	254.53573
1.45	290.70131	271.61132	255.08054
1.5	329.74856	304.27991	282.93084
1.55	362.37234	327.13456	299.20529
1.6	360.8619	328.26533	302.36806
1.65	319.52441	301.44474	285.97985
1.7	274.83616	270.47616	267.2436
1.75	283.40696	273.14278	269.58703
1.8	321.38617	308.87701	296.81982
1.85	384.95704	355.24622	330.80965
1.9	426.0623	386.38588	354.06674
1.95	432.86462	390.75258	356.44509
2	410.84351	372.53868	341.25875

2.05	366.47342	337.74479	313.90463
2.1	310.80572	294.69952	280.41865
2.15	263.32483	257.63942	251.43693
2.2	241.98655	237.40943	234.41094
2.25	244.90588	235.24188	229.56729
2.3	259.56894	242.31524	230.83634
2.35	272.47362	249.4306	230.99365
2.4	275.57972	249.41092	227.84613
2.45	267.19856	240.54226	218.90695
2.5	246.40741	222.47855	203.46733
2.55	214.82188	195.76797	181.19757
2.6	186.90633	181.43073	176.50073
2.65	202.09647	178.04275	171.31321
2.7	204.74281	181.27764	165.64379
2.75	204.33732	186.54868	171.25942
2.8	208.43391	190.09875	174.22747
2.85	207.57982	189.20238	173.30115
2.9	201.84732	183.82101	168.28505
2.95	191.84807	174.73282	159.9828
3	190.7464	171.9268	158.67519
3.05	204.38145	183.9403	167.93991
3.1	211.87003	190.0576	172.52243
3.15	212.78983	190.89361	172.86985
3.2	208.35974	187.25061	169.90175
3.25	200.09758	180.49695	166.61085
3.3	189.44223	172.43946	159.96899
3.35	176.90744	163.1075	151.7442
3.4	163.97751	152.8446	143.09633
3.45	151.9031	142.59976	134.12988
3.5	140.30369	132.60803	125.48153
3.55	129.61417	123.1552	117.08793
3.6	120.39102	115.86032	111.46141
3.65	114.04736	110.10257	106.32245
3.7	108.37905	104.72991	101.37432
3.75	103.25925	99.77009	96.6408
3.8	98.45674	95.20855	92.14966
3.85	93.85853	90.85835	88.02318
3.9	89.41405	86.668	84.07305
3.95	85.11973	82.6257	80.2664
4	80.99808	78.74898	76.60839

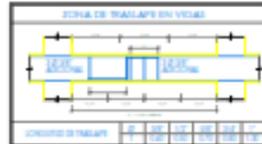
DETALLE DE PLANOS ESTRUCTURALES
LOSAS

DETALLE DE PLANOS ESTRUCTURALES
VIGAS



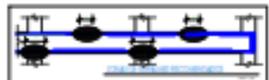
PARAMETROS GEOMÉTRICOS / E-00 - 2018

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
1	ANCHO DE LA LOSA	30	CM
2	ALTO DE LA LOSA	40	CM
3	ANCHO DE LA VIGA	20	CM
4	ALTO DE LA VIGA	30	CM
5	ESPESOR DE LA LOSA	10	CM
6	ESPESOR DE LA VIGA	10	CM
7	ESPESOR DE LA LOSA EN EL DORSO	10	CM
8	ESPESOR DE LA LOSA EN EL VENTRO	10	CM
9	ESPESOR DE LA VIGA EN EL DORSO	10	CM
10	ESPESOR DE LA VIGA EN EL VENTRO	10	CM



RESUMEN DE DATOS

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
1	ANCHO DE LA LOSA	30	CM
2	ALTO DE LA LOSA	40	CM
3	ANCHO DE LA VIGA	20	CM
4	ALTO DE LA VIGA	30	CM
5	ESPESOR DE LA LOSA	10	CM
6	ESPESOR DE LA VIGA	10	CM
7	ESPESOR DE LA LOSA EN EL DORSO	10	CM
8	ESPESOR DE LA LOSA EN EL VENTRO	10	CM
9	ESPESOR DE LA VIGA EN EL DORSO	10	CM
10	ESPESOR DE LA VIGA EN EL VENTRO	10	CM



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
1	ANCHO DE LA LOSA	30	CM
2	ALTO DE LA LOSA	40	CM
3	ANCHO DE LA VIGA	20	CM
4	ALTO DE LA VIGA	30	CM
5	ESPESOR DE LA LOSA	10	CM
6	ESPESOR DE LA VIGA	10	CM
7	ESPESOR DE LA LOSA EN EL DORSO	10	CM
8	ESPESOR DE LA LOSA EN EL VENTRO	10	CM
9	ESPESOR DE LA VIGA EN EL DORSO	10	CM
10	ESPESOR DE LA VIGA EN EL VENTRO	10	CM



01
 02
 03
 04
 05
 06
 07
 08
 09
 10
 11
 12
 13
 14
 15
 16
 17
 18
 19
 20
 21
 22
 23
 24
 25
 26
 27
 28
 29
 30
 31
 32
 33
 34
 35
 36
 37
 38
 39
 40
 41
 42
 43
 44
 45
 46
 47
 48
 49
 50
 51
 52
 53
 54
 55
 56
 57
 58
 59
 60
 61
 62
 63
 64
 65
 66
 67
 68
 69
 70
 71
 72
 73
 74
 75
 76
 77
 78
 79
 80
 81
 82
 83
 84
 85
 86
 87
 88
 89
 90
 91
 92
 93
 94
 95
 96
 97
 98
 99
 100
 101
 102
 103
 104
 105
 106
 107
 108
 109
 110
 111
 112
 113
 114
 115
 116
 117
 118
 119
 120
 121
 122
 123
 124
 125
 126
 127
 128
 129
 130
 131
 132
 133
 134
 135
 136
 137
 138
 139
 140
 141
 142
 143
 144
 145
 146
 147
 148
 149
 150
 151
 152
 153
 154
 155
 156
 157
 158
 159
 160
 161
 162
 163
 164
 165
 166
 167
 168
 169
 170
 171
 172
 173
 174
 175
 176
 177
 178
 179
 180
 181
 182
 183
 184
 185
 186
 187
 188
 189
 190
 191
 192
 193
 194
 195
 196
 197
 198
 199
 200
 201
 202
 203
 204
 205
 206
 207
 208
 209
 210
 211
 212
 213
 214
 215
 216
 217
 218
 219
 220
 221
 222
 223
 224
 225
 226
 227
 228
 229
 230
 231
 232
 233
 234
 235
 236
 237
 238
 239
 240
 241
 242
 243
 244
 245
 246
 247
 248
 249
 250
 251
 252
 253
 254
 255
 256
 257
 258
 259
 260
 261
 262
 263
 264
 265
 266
 267
 268
 269
 270
 271
 272
 273
 274
 275
 276
 277
 278
 279
 280
 281
 282
 283
 284
 285
 286
 287
 288
 289
 290
 291
 292
 293
 294
 295
 296
 297
 298
 299
 300
 301
 302
 303
 304
 305
 306
 307
 308
 309
 310
 311
 312
 313
 314
 315
 316
 317
 318
 319
 320
 321
 322
 323
 324
 325
 326
 327
 328
 329
 330
 331
 332
 333
 334
 335
 336
 337
 338
 339
 340
 341
 342
 343
 344
 345
 346
 347
 348
 349
 350
 351
 352
 353
 354
 355
 356
 357
 358
 359
 360
 361
 362
 363
 364
 365
 366
 367
 368
 369
 370
 371
 372
 373
 374
 375
 376
 377
 378
 379
 380
 381
 382
 383
 384
 385
 386
 387
 388
 389
 390
 391
 392
 393
 394
 395
 396
 397
 398
 399
 400
 401
 402
 403
 404
 405
 406
 407
 408
 409
 410
 411
 412
 413
 414
 415
 416
 417
 418
 419
 420
 421
 422
 423
 424
 425
 426
 427
 428
 429
 430
 431
 432
 433
 434
 435
 436
 437
 438
 439
 440
 441
 442
 443
 444
 445
 446
 447
 448
 449
 450
 451
 452
 453
 454
 455
 456
 457
 458
 459
 460
 461
 462
 463
 464
 465
 466
 467
 468
 469
 470
 471
 472
 473
 474
 475
 476
 477
 478
 479
 480
 481
 482
 483
 484
 485
 486
 487
 488
 489
 490
 491
 492
 493
 494
 495
 496
 497
 498
 499
 500
 501
 502
 503
 504
 505
 506
 507
 508
 509
 510
 511
 512
 513
 514
 515
 516
 517
 518
 519
 520
 521
 522
 523
 524
 525
 526
 527
 528
 529
 530
 531
 532
 533
 534
 535
 536
 537
 538
 539
 540
 541
 542
 543
 544
 545
 546
 547
 548
 549
 550
 551
 552
 553
 554
 555
 556
 557
 558
 559
 560
 561
 562
 563
 564
 565
 566
 567
 568
 569
 570
 571
 572
 573
 574
 575
 576
 577
 578
 579
 580
 581
 582
 583
 584
 585
 586
 587
 588
 589
 590
 591
 592
 593
 594
 595
 596
 597
 598
 599
 600
 601
 602
 603
 604
 605
 606
 607
 608
 609
 610
 611
 612
 613
 614
 615
 616
 617
 618
 619
 620
 621
 622
 623
 624
 625
 626
 627
 628
 629
 630
 631
 632
 633
 634
 635
 636
 637
 638
 639
 640
 641
 642
 643
 644
 645
 646
 647
 648
 649
 650
 651
 652
 653
 654
 655
 656
 657
 658
 659
 660
 661
 662
 663
 664
 665
 666
 667
 668
 669
 670
 671
 672
 673
 674
 675
 676
 677
 678
 679
 680
 681
 682
 683
 684
 685
 686
 687
 688
 689
 690
 691
 692
 693
 694
 695
 696
 697
 698
 699
 700
 701
 702
 703
 704
 705
 706
 707
 708
 709
 710
 711
 712
 713
 714
 715
 716
 717
 718
 719
 720
 721
 722
 723
 724
 725
 726
 727
 728
 729
 730
 731
 732
 733
 734
 735
 736
 737
 738
 739
 740
 741
 742
 743
 744
 745
 746
 747
 748
 749
 750
 751
 752
 753
 754
 755
 756
 757
 758
 759
 760
 761
 762
 763
 764
 765
 766
 767
 768
 769
 770
 771
 772
 773
 774
 775
 776
 777
 778
 779
 780
 781
 782
 783
 784
 785
 786
 787
 788
 789
 790
 791
 792
 793
 794
 795
 796
 797
 798
 799
 800
 801
 802
 803
 804
 805
 806
 807
 808
 809
 810
 811
 812
 813
 814
 815
 816
 817
 818
 819
 820
 821
 822
 823
 824
 825
 826
 827
 828
 829
 830
 831
 832
 833
 834
 835
 836
 837
 838
 839
 840
 841
 842
 843
 844
 845
 846
 847
 848
 849
 850
 851
 852
 853
 854
 855
 856
 857
 858
 859
 860
 861
 862
 863
 864
 865
 866
 867
 868
 869
 870
 871
 872
 873
 874
 875
 876
 877
 878
 879
 880
 881
 882
 883
 884
 885
 886
 887
 888
 889
 890
 891
 892
 893
 894
 895
 896
 897
 898
 899
 900
 901
 902
 903
 904
 905
 906
 907
 908
 909
 910
 911
 912
 913
 914
 915
 916
 917
 918
 919
 920
 921
 922
 923
 924
 925
 926
 927
 928
 929
 930
 931
 932
 933
 934
 935
 936
 937
 938
 939
 940
 941
 942
 943
 944
 945
 946
 947
 948
 949
 950
 951
 952
 953
 954
 955
 956
 957
 958
 959
 960
 961
 962
 963
 964
 965
 966
 967
 968
 969
 970
 971
 972
 973
 974
 975
 976
 977
 978
 979
 980
 981
 982
 983
 984
 985
 986
 987
 988
 989
 990
 991
 992
 993
 994
 995
 996
 997
 998
 999
 1000
 1001
 1002
 1003
 1004
 1005
 1006
 1007
 1008
 1009
 1010
 1011
 1012
 1013
 1014
 1015
 1016
 1017
 1018
 1019
 1020
 1021
 1022
 1023
 1024
 1025
 1026
 1027
 1028
 1029
 1030
 1031
 1032
 1033
 1034
 1035
 1036
 1037
 1038
 1039
 1040
 1041
 1042
 1043
 1044
 1045
 1046
 1047
 1048
 1049
 1050
 1051
 1052
 1053
 1054
 1055
 1056
 1057
 1058
 1059
 1060
 1061
 1062
 1063
 1064
 1065
 1066
 1067
 1068
 1069
 1070
 1071
 1072
 1073
 1074
 1075
 1076
 1077
 1078
 1079
 1080
 1081
 1082
 1083
 1084
 1085
 1086
 1087
 1088
 1089
 1090
 1091
 1092
 1093
 1094
 1095
 1096
 1097
 1098
 1099
 1100
 1101
 1102
 1103
 1104
 1105
 1106
 1107
 1108
 1109
 1110
 1111
 1112
 1113
 1114
 1115
 1116
 1117
 1118
 1119
 1120
 1121
 1122
 1123
 1124
 1125
 1126
 1127
 1128
 1129
 1130
 1131
 1132
 1133
 1134
 1135
 1136
 1137
 1138
 1139
 1140
 1141
 1142
 1143
 1144
 1145
 1146
 1147
 1148
 1149
 1150
 1151
 1152
 1153
 1154
 1155
 1156
 1157
 1158
 1159
 1160
 1161
 1162
 1163
 1164
 1165
 1166
 1167
 1168
 1169
 1170
 1171
 1172
 1173
 1174
 1175
 1176
 1177
 1178
 1179
 1180
 1181
 1182
 1183
 1184
 1185
 1186
 1187
 1188
 1189
 1190
 1191
 1192
 1193
 1194
 1195
 1196
 1197
 1198
 1199
 1200
 1201
 1202
 1203
 1204
 1205
 1206
 1207
 1208
 1209
 1210
 1211
 1212
 1213
 1214
 1215
 1216
 1217
 1218
 1219
 1220
 1221
 1222
 1223
 1224
 1225
 1226
 1227
 1228
 1229
 1230
 1231
 1232
 1233
 1234
 1235
 1236
 1237
 1238
 1239
 1240
 1241
 1242
 1243
 1244
 1245
 1246
 1247
 1248
 1249
 1250
 1251
 1252
 12

DETALLE DE PLANOS ESTRUCTURALES
PLACAS

