



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**TESIS:**

---

“ANÁLISIS COMPARATIVO DE COMPORTAMIENTOS SÍSMICOS ENTRE SISTEMAS ESTRUCTURALES APORTICADOS CONFIGURADOS CON ACARTELAMIENTOS DE SECCIONES CÓNICAS, Y LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES APORTICADO Y DUAL CONVENCIONALES; CASO EDIFICACIÓN “RESIDENCIAL KALA”, CUSCO 2021”

---

**Presentado por:**

Bach. Julio César Mejía Cuéllar

Para optar el título profesional de **Ingeniero Civil**

**Asesor:**

Mgt. Ing. Heiner Soto Flórez

CUSCO-PERÚ

2022



## Dedicatoria

*Soli Deo gloria*

*Jai guru Dev Om*



## Agradecimientos

La concreción de esta tesis no pudo haber sido lograda sin:

La asesoría constante del Mgt. Ing. Heiner Soto Flórez para la realización formal de esta investigación, quién gracias a su experticia profesional y compromiso desde el principio se pudo corregir las observaciones levantadas, responder las dudas planteadas y resolver las dificultades halladas en todo el trayecto de esta tesis.

Los conocimientos logrados en la revisión guiada de la teoría fundamental de la Dinámica Modal Espectral hacia estructuras civiles y su interpretación de resultados, impartida por el Mgt. Ing. Heiner Soto Flórez, en el curso de “Ingeniería Sismorresistente”.

El aprendizaje sobre la algoritmia en los métodos de análisis estructural como base para comprender el funcionamiento del Método de los Elementos Finitos, bajo la instrucción académica por el Dr. Ing. Elvis Yuri Mamani Vargas en el curso de “Análisis Estructural II”.

Las facultades adquiridas para el diseño estructural bajo la normatividad peruana procurando los requisitos de demanda, regularidad y rigidez de edificaciones civiles, gracias las clases dictadas por el Dr. Ing. Eliot Pezo Zegarra en el curso de “Diseño Estructural de Edificaciones”.

La dictaminancia incisiva realizada por parte del Dr. Ing. Elvis Yuri Mamani Vargas y Mgt. Ing. Alain Elvis Alanoca Aragón para que esta tesis pueda ser presentada como un alcance científico útil en el campo de la investigación de la Ingeniería Civil, desde la Universidad Andina del Cusco.

El apoyo incondicional de mis padres y hermana quienes me ayudaron a formarme como persona, patrocinaron mi carrera profesional e impulsaron a llegar hasta aquí para así culminar con una etapa de mi vida, y poder seguir adelante como un profesional ético dentro del campo laboral.



## Resumen

En el presente trabajo de investigación se llevaron a cabo análisis paramétricos comparativos, en materia de comportamiento sísmico, para evaluar la incidencia que tiene la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica dentro de los sistemas estructurales convencionales Aporticado y Dual en concreto armado dispuestos por la norma peruana E.030 (2020). Estudio que tuvo como excusa de probeta, una edificación multinivel de ocho plantas con fines de vivienda, ubicada en la ciudad del Cusco y denominada “Residencial Kala”. Para lo cual, 90 diferentes casos de prueba hipotéticos fueron inscritos, en los cuales la estructuración de cada propuesta de diferenciaba por si 1) los perfiles de acartelamiento de sus vigas fuesen Circulares, Elípticas o Parabólicas; 2) los peraltes de acartelamiento de estas; 3) las localizaciones que tuvieran dentro del sistema; y 4) la existencia (o no) de muros estructurales. Por otro lado, los 2 casos de control para los sistemas convencionales fueron también modelados. Posteriormente, los especímenes fueron sometidos a Análisis Estructurales Modales Espectrales por el Método de los Elementos Finitos a cargo del paquete computacional ARSAP 2022. Análisis que fueron ajustados a los procedimientos y propiedades dictadas por normas peruanas E.020: Cargas; E.030: Diseño sismorresistente; y E.060: Concreto armado. Llegándose legítimamente a formular cálculos restringidos a comportamientos lineales y elásticos tanto mecánica como geoméricamente, siendo luego aproximados a comportamientos plásticos según lo requerido.

Consecuentemente, los resultados mostraron que la incorporación de estos tipos de Vigas no Prismáticas dentro de ambos sistemas, inducen a incrementos de Cortantes, Momentos de Volteo y Torsiones Basales del orden de hasta 133.7%, 134.8% y 95.0%; respectivamente, en la dirección de análisis más crítica. No obstante, en esa misma dirección sísmica (X) se documentaron importantes ganancias de rigidez, en función a reducciones de Derivas y Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos, de hasta 59.8% y 70.6%, respectivamente. En lo que respecta a irregularidades estructurales provocadas por su inclusión, se reportó alzas en los Índices de Irregularidad Torsional de hasta 22.2% en la comparación entre sistemas Duales, y de bajas de hasta 8.1% en la comparación entre sistemas Aporticados. Luego, se detectaron decrementos de Periodos de Vibración de hasta 62.0% para casos Aporticados, y 52.3% para casos Duales. Finalmente, respecto a los Pesos Estructurales, se obtuvo que podían variar desde descuentos de 2.4% para sistemas Duales, hasta aumentos de 16.8% para sistemas Aporticados.

**Palabras clave:** Comportamiento sísmico, vigas acarteladas, edificación multinivel, circulares, elípticas, parabólicas, modal espectral, vigas no prismáticas.





## Abstract

In this thesis, comparative parametric analyses were carried out, in matter of seismic behavior, to assess the incidence that the incorporation of Conic Section Haunched Beams have on conventional reinforced concrete Framed and Dual structural systems disposed by the Peruvian code E.030 (2020). Study that had as test object, a multi-story building of eight levels for housing purposes, located in the city of Cusco and called “Residencial Kala”. In that way, 90 hypothetical test cases were inscribed, where each proposal of structuration differed accordingly whether 1) its haunched beam profiles were Circular, Elliptical or Parabolic; 2) their haunch depths; 3) haunched beams locations inside the system; and 4) the existence (or not) of shear walls. On the other hand, the two control cases for conventional systems were modeled as well. Subsequently, structured specimens were subjected to Modal Spectral Structural Analyses by the Finite Element Method brought out by the computational package ARSAP 2022. These analyses were adjusted to the dictated procedures and properties by the Peruvian codes E.020: Loads; E.030: Seismic-resistant design; and E.060: Reinforced concrete. Thus, legit formulated calculations were restricted to lineal-elastic behaviors both mechanically and geometrically, being approximated into plastic behaviors according to those design codes.

Consequently, results showed that the incorporation of these types of Non-prismatic Beams in both systems, lead to Base Shears, Overturning Moments and Torsions increments up to 133.7%, 134.8% and 95.0%; respectively, in the most critical direction of analysis. Nevertheless, in that same seismic direction (X), important stiffness increases were found, in function of Drifts and Maximum Pseudo-plastic Displacement reductions, down to 59.8% and 70.6%, respectively. In regards of structural irregularities caused by their inclusion, augmentations up to 22.2% on Torsional Irregularity Indices were reported inside the Dual systems comparison, but also diminishments down to 8.1% inside the Framed systems comparison. Continually, decrements on Vibration Periods were detected, for percental values down to 62.0% on Framed cases, and 52.3% for Dual cases. Finally, in function of Structural Weights, it was obtained that non-conventional systems proposed could allow discounts down to 2.4% for Dual systems, but additions up to 16.8% for Framed systems.

**Key words: Seismic behavior, haunched beams, multi-story building, circular, elliptical, parabolic, modal spectral, non-prismatic beams.**



## Introducción

El campo estructural de la Ingeniería Civil, en tiempos contemporáneos, viene buscando y desarrollando nuevas técnicas y tecnologías para facilidades constructivas cada vez más exigentes, constantemente demandadas por el progreso socio-económico de la humanidad traducido en infraestructura con nuevas solicitudes; edificaciones de mayor altura, mayores áreas de construcción, geometrías tridimensionales complejas que implican desafíos de diseño y construcción, estructuras forjadas en nuevos materiales o formas, diseños para estados de servicio con mayor desempeño, cálculo con modelos numéricos más realistas y parametrizados, etc. Para los estudiantes estas solicitudes implican retos a su estado de conocimiento, lo cual conlleva a desarrollar la investigación para innovar en la calidad de la profesión y brindar las soluciones más asertivas para la humanidad.

El desarrollo del conocimiento, en orden de convertirse en el estado de ciencia del mañana es proveniente de la investigación y la consecuente experimentación o simulación que permite el progreso innovativo y sofisticativo de la ingeniería estructural para dos ámbitos: las mejoras de la calidad, en términos de ingeniería, para el diseño de concepciones estructurales convencionales; y la formulación de diseños para concepciones estructurales poco convencionales o impatentadas, para un futuro de la construcción ya exigente.

La ingeniería civil busca resolver problemas de infraestructura, en una primera instancia, desde el punto de vista de “lo seguro”. Por lo cual para diseñarlas utiliza múltiples factores de seguridad siempre mayores que 1, considerándose que no se conoce totalmente las condiciones de contorno del emplazamiento, no se conoce el comportamiento “real” de la estructura, no se conoce como y cuando ocurrirá una eventualidad natural adversa, et cetera.

Para los edificios de la ciudad de Cusco, el diseño sismo-resistente es el que ciertamente es considerado como prioridad de seguridad, por lo que todos los elementos estructurales desde la sub-estructura de fundación hasta la super-estructura de servicio deben ser analizados y diseñados por criterios de respuesta sísmica normados en los códigos peruanos. La disposición, conjugación e interacción de los elementos estructurales se logra mediante la concepción de un sistema estructural para la edificación, tomándose en cuenta que estará en función de la ductilidad, rigidez y resistencia deseadas; trabajo fortuito realizado por el ingeniero civil-estructural, quien busca un correcto comportamiento sísmico dentro de los límites de la Norma



Técnica de Edificaciones E.030: Diseño Sismorresistente. Estas restricciones técnicas suelen ser conservadoras, y solo admiten cambios o adiciones cuando se demuestra por varias investigaciones científicas que ciertas formulaciones innovativas, en este caso para sistemas estructurales, pueden funcionar igual o de mejor manera que de lo requerido para el soporte de la infraestructura civil en servicio.

Los sistemas estructurales en concreto armado considerados en la Norma Técnica Peruana E.030-20 generalmente registran configuraciones con elementos de sección transversal prismática, desconsiderando los posibles aportes a la distribución y direccionamiento de esfuerzos y deformaciones que elementos de sección variables puedan dotar a la estructura para solicitaciones estáticas y dinámicas. Elementos estructurales no prismáticos a ser estudiados pueden ser las Vigas Acarteladas de Sección Cónica cuya superficie longitudinal inferior esta perfilada en forma de una curva cuadrática, mientras que su superficie superior se mantiene en un perfil recto.

La configuración de marcos estructurales Aporticados y Duales con la inclusión de Vigas Acarteladas de Sección Cónica podría significar la concepción de nuevas variaciones de sistemas estructurales, sin embargo, es necesario emprender una investigación exhaustiva del comportamiento de estos elementos partiendo de estudios en metodologías de análisis estructurales numéricos con modelos cuasi-experimentales, en orden de obtener un marco de resultados preliminares que al interpretarlos sugieran que estos nuevos sistemas estructurales puestos a prueba, puedan considerarse funcionalmente similares en cuanto a la respuesta estructural a ciertas solicitaciones máximas que un sistema estructural Aporticado o Dual deban soportar en Perú; o por otro lado llegando a compararse o superar la respuesta estructural que un sistema estructural netamente Dual pueda ofrecer. En el contexto peruano esta respuesta estructural se refiere en mayor magnitud y significancia al comportamiento sísmico del sistema estructural para una estructura de proyecto.

Esta investigación de estos elementos estructurales descritos, por lo tanto, se daría inicio con el estudio de análisis estructural sísmico comparativo de sistemas estructurales en concreto armado, entre los múltiples y puestos desde ya en prueba sistemas estructurales “Aporticados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica” y sistemas “Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica”, el sistema estructural normado Dual, y el sistema estructural Aporticado, igualmente reconocido por la norma peruana.



## Índice general

Capítulo I: Planteamiento del problema .....	1
1. <b>Ámbito de influencia de la tesis</b> .....	2
1.1. <i>Ubicación geográfica</i> .....	2
1.2. <i>Ámbito de influencia teórica</i> .....	2
2. <b>Identificación del problema de investigación</b> .....	2
2.1. <i>Descripción del problema</i> .....	2
2.2. <i>Formulación de la interrogativa del problema</i> .....	3
2.2.1. <i>Problema general</i> .....	3
2.2.2. <i>Problemas específicos</i> .....	4
3. <b>Justificación de la Investigación</b> .....	6
3.1. <i>Justificación Técnica</i> .....	6
3.2. <i>Justificación Social</i> .....	6
3.3. <i>Justificación por Viabilidad</i> .....	7
3.4. <i>Justificación por Relevancia</i> .....	7
4. <b>Limitaciones de la Investigación</b> .....	8
5. <b>Objetivos de la Investigación</b> .....	9
5.1. <i>Objetivo general</i> .....	9
5.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	10
Capítulo II: Marco teórico de la tesis .....	12
1. <b>Antecedentes de investigación</b> .....	13
1.1. <i>Antecedentes a Nivel Nacional</i> .....	13
1.1.1. <i>Vigas de Sección Variable y su influencia en el comportamiento estructural en una vivienda multifamiliar de la ciudad de Huancayo, 2017</i> .....	13
1.1.2. <i>Vigas Acarteladas de Concreto Armado, propuesta para su aplicación en el Diseño de Edificios Sismorresistentes</i> .....	14
1.2. <i>Antecedentes a Nivel Internacional</i> .....	15
1.2.1. <i>Structural Behaviour of Reinforced Concrete Haunched Beam</i> .....	15
1.2.2. <i>Effect of Haunched Beams in Moment Resisting RC Frames</i> .....	16
1.2.3. <i>Concerns Regarding the Seismic Design of Reinforced Concrete Haunched Beams - Study Case: [Failure mechanisms for a] 12-story [RC framed with Haunched Beams] building in Mexico City</i> .....	17
1.2.4. <i>Behavior of Reinforced Concrete Haunched Beams subjected to Static Shear Loading</i> .....	18



1.2.5.	<i>Lateral Stiffness of Reinforced Concrete Moment Frames with Haunched Beams...</i>	19
1.2.6.	<i>Trabes Acarteladas de Concreto Reforzado Continuas diseñadas para fallar por Cortante</i>	20
1.2.7.	<i>Shear Failure Mechanism of Reinforce Concrete Haunched Beams</i>	21
2.	<b>Aspectos teóricos pertinentes</b>	23
2.1.	<b>Análisis estructural</b>	23
2.1.1.	<i>Tipos de análisis estructurales</i>	23
2.1.2.	<i>Métodos de análisis estructural</i>	28
2.2.	<b>Sistemas estructurales</b>	35
2.2.1.	<i>Sistemas estructural estructurales convencionales</i>	35
2.2.2.	<i>Sistemas estructural estructurales no convencionales</i>	36
2.3.	<b>Situación sísmica</b>	45
2.3.1.	<i>Peligro sísmico</i>	45
2.3.2.	<i>Vulnerabilidad sísmica</i>	48
2.4.	<b>Comportamiento sísmico</b>	49
2.4.1.	<i>Periodos de vibración</i>	53
2.4.2.	<i>Cortantes modales de entrepiso</i>	56
2.4.3.	<i>Desplazamientos modales de entrepiso</i>	57
2.4.4.	<i>Torsiones modales de entrepiso</i>	57
2.4.5.	<i>Momentos de volteo modales de plano</i>	57
2.4.6.	<i>Excentricidades</i>	57
2.5.	<b>Propiedades mecánicas del concreto armado</b>	58
2.5.1.	<i>Módulo de Young</i>	58
2.5.2.	<i>Relación de Poisson</i>	58
2.5.3.	<i>Módulo de Corte</i>	59
2.5.4.	<i>Relación de amortiguamiento</i>	59
2.6.	<b>Análisis estructural dinámico considerando la Matriz de Masa Consistente</b>	60
2.7.	<b>Confeción del Espectro Sísmico de Diseño Elástico</b>	60
2.8.	<b>Parámetros adicionales de análisis</b>	66
2.8.1.	<i>Derivas y desplazamientos pseudo-plásticos</i>	66
2.8.2.	<i>Índices de Irregularidad Torsional</i>	66
3.	<b>Hipótesis de investigación</b>	67
3.1.	<b>Hipótesis general</b>	67
3.2.	<b>Sub-Hipótesis</b>	67
4.	<b>Definición de variables e indicadores</b>	69
4.1.	<b>Variables independientes</b>	69



4.1.1.	<i>Dimensiones e indicadores de variables independientes</i> .....	69
4.2.	<i>Variables dependientes</i> .....	76
4.2.1.	<i>Sub-variables, dimensiones e indicadores de variables dependientes</i> .....	76
5.	<b>Cuadro de operacionalización de variables</b> .....	80
<b>Capítulo III: Metodología de la tesis</b> .....		81
1.	<b>Metodología de la Investigación</b> .....	82
1.1.	<i>Enfoque de Investigación</i> .....	82
1.2.	<i>Nivel de Investigación</i> .....	82
1.3.	<i>Método de Investigación</i> .....	82
2.	<b>Diseño de la Investigación</b> .....	83
2.1.	<i>Diseño metodológico</i> .....	83
2.2.	<i>Diseño de ingeniería</i> .....	84
3.	<b>Población y muestra</b> .....	85
3.1.	<i>Población</i> .....	85
3.1.1.	<i>Descripción de la población</i> .....	85
3.1.2.	<i>Cuantificación de la población</i> .....	85
3.2.	<i>Muestra</i> .....	85
3.2.1.	<i>Descripción de la muestra</i> .....	85
3.2.2.	<i>Cuantificación de la muestra</i> .....	85
3.2.3.	<i>Métodos de muestreo</i> .....	86
3.2.4.	<i>Criterios de evaluación de la muestra</i> .....	86
3.3.	<i>Criterios de inclusión</i> .....	86
4.	<b>Instrumentos</b> .....	89
4.1.	<i>Instrumentos de recolección de datos</i> .....	89
4.1.1.	<i>Metrado de cargas</i> .....	89
4.1.2.	<i>Pre-dimensionamiento de elementos estructurales</i> .....	90
4.1.3.	<i>Estructuración de sistemas estructurales</i> .....	91
4.1.4.	<i>Irregularidades Estructurales Sísmicas</i> .....	93
4.1.5.	<i>Espectro Sísmico de Diseño</i> .....	97
4.2.	<i>Instrumentos de ingeniería</i> .....	98
5.	<b>Procedimientos de Recolección de datos</b> .....	98
5.1.	<i>Revisión técnica</i> .....	98
5.1.1.	<i>Revisión de datos de sitio</i> .....	98
5.1.2.	<i>Revisión de datos de arquitectura</i> .....	99
5.1.3.	<i>Revisión de datos de estructuras</i> .....	100
5.1.4.	<i>Revisión de datos suelo de fundación</i> .....	100



5.2. Estructuración .....	101
5.2.1. Metrado de cargas.....	101
5.2.2. Definición de propiedades del concreto .....	102
5.2.3. Pre-dimensionamiento de elementos estructurales .....	103
5.2.4. Concepción de sistemas estructurales de estudio.....	107
6. Procedimientos de Análisis de datos .....	119
6.1. Modelamiento estructural .....	119
6.1.1. Trazo de ejes y niveles estructurales .....	119
6.1.2. Definición de propiedades del material .....	120
6.1.3. Definición de geometría de secciones y espesores .....	121
6.1.4. Idealización de modelos analíticos para sistemas estructurales.....	122
6.1.5. Asignación de condiciones de contorno .....	125
6.2. Análisis estructural.....	125
6.2.1. Asignación de modelos de cálculo .....	125
6.2.2. Aplicación de cargas estáticas .....	127
6.2.3. Discretización de modelos analíticos .....	129
6.2.4. Definición de análisis estructural modal .....	130
6.2.5. Asignación de espectros sísmicos preliminares .....	131
6.2.6. Verificación de sistemas estructurales .....	133
6.2.7. Verificación de irregularidades estructurales.....	134
6.2.8. Verificación sísmica estática .....	144
6.2.9. Verificación espectral de diseño .....	147
6.2.10. Corrido de los análisis .....	148
Capítulo IV: Resultados de la tesis .....	149
1. Nomenclatura de Casos de Estudio.....	150
2. Cortantes Modales Basales .....	151
2.1. Cortantes Modales Basales en Sistemas Estructurales Aporticado (SEA) y Dual (SED) convencionales.....	151
2.2. Cortantes Modales Basales de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica .....	152
2.3. Cortantes Modales Basales de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica .....	154
3. Máximas Derivas Pseudo-plásticas .....	157
3.1. Máximas Derivas Pseudo-plásticas de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales.....	157
3.2. Máximas Derivas Pseudo-plásticas de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica .....	158





3.3.	<i>Máximas Derivas Pseudo-plásticas de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	160
4.	<b>Torsiones Modales Basales</b> .....	163
4.1.	<i>Torsiones Modales Basales de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales</i> .....	163
4.2.	<i>Torsiones Modales Basales de Sistemas Estructurales Aportcados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	164
4.3.	<i>Torsiones Modales Basales de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	166
5.	<b>Excentricidades de entrepiso</b> .....	169
5.1.	<i>Excentricidades de entrepiso de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales</i> .....	169
5.2.	<i>Excentricidades de entrepiso de Sistemas Estructurales Aportcados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	170
5.3.	<i>Excentricidades de entrepiso de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	172
6.	<b>Momentos modales de volteo basales</b> .....	175
6.1.	<i>Momentos modales de volteo basales de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales</i> .....	175
6.2.	<i>Momentos modales de volteo basales de Sistemas Estructurales Aportcados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	176
6.3.	<i>Momentos modales de volteo basales de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	178
7.	<b>Periodos de vibración</b> .....	181
7.1.	<i>Periodos de vibración de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales</i> .....	181
7.2.	<i>Periodos de vibración de Sistemas Estructurales Aportcados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	182
7.3.	<i>Periodos de vibración de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	184
8.	<b>Máximos desplazamientos pseudo-plásticos</b> .....	187
8.1.	<i>Máximos desplazamientos pseudo-plásticos de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales</i> .....	187
8.2.	<i>Máximos desplazamientos pseudo-plásticos de Sistemas Estructurales Aportcados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	188
8.3.	<i>Máximos desplazamientos pseudo-plásticos de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	190
9.	<b>Índices de irregularidad torsional</b> .....	193
9.1.	<i>Índices de irregularidad torsional de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales</i> .....	193
9.2.	<i>Índices de irregularidad torsional de Sistemas Estructurales Aportcados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	194





9.3.	<i>Índices de irregularidad torsional de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	196
10.	<b>Pesos estructurales</b> .....	199
10.1.	<i>Pesos estructurales de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales</i> .	199
10.2.	<i>Pesos estructurales de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	200
10.3.	<i>Pesos estructurales de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica</i> .....	201
Capítulo V:	<b>Discusión de resultados</b> .....	203
1.	<b>Discusiones</b> .....	204
1.1.	<i>Incremento de Cortantes Modales Basales</i> .....	204
1.2.	<i>Reducción de Máximas Derivas y Desplazamientos Pseudo-plásticos</i> .....	204
1.3.	<i>Incremento de Momentos Modales de Volteo Basales</i> .....	205
1.4.	<i>Disminución de Periodos de Vibración</i> .....	206
1.5.	<i>Excentricidades de Entrepiso, Torsiones Modales e Índices de Irregularidad Torsional</i> 206	
1.6.	<i>Cuotas de peso estructural</i> .....	207
1.7.	<i>Perfiles de sección cónica, peraltes de acartelamiento y configuraciones</i> .....	207
1.8.	<i>Novedad de resultados obtenidos</i> .....	208
1.9.	<i>Variación racional de costos de ejecución de Vigas Acarteladas</i> .....	209
2.	<b>Conclusiones</b> .....	211
2.1.	<i>Conclusión general</i> .....	211
2.2.	<i>Conclusiones específicas</i> .....	212
	<i>Conclusión N° 1:</i> .....	212
	<i>Conclusión N° 2:</i> .....	212
	<i>Conclusión N° 3:</i> .....	213
	<i>Conclusión N° 4:</i> .....	213
	<i>Conclusión N° 5:</i> .....	214
	<i>Conclusión N° 6:</i> .....	214
	<i>Conclusión N° 7:</i> .....	215
	<i>Conclusión N° 8:</i> .....	215
	<i>Conclusión N° 9:</i> .....	216
3.	<b>Recomendaciones</b> .....	216
	<i>Recomendación N° 1:</i> .....	216
	<i>Recomendación N° 2:</i> .....	216
	<i>Recomendación N° 3:</i> .....	217
	<i>Recomendación N° 4:</i> .....	217



<i>Recomendación N° 5:</i> .....	217
<i>Recomendación N° 6:</i> .....	217
<i>Recomendación N° 7:</i> .....	218
<i>Recomendación N° 8:</i> .....	218
<i>Recomendación N° 9:</i> .....	218
<i>Recomendación N° 10:</i> .....	218
<b>Glosario</b> .....	219
<b>Referencias</b> .....	221
<b>Anexos</b> .....	225



## Índice de tablas

<b>Tabla II- 1:</b> Clasificación de perfiles de suelo según norma E.030 (2020).....	64
<b>Tabla II- 2:</b> Factor sísmico de suelo según norma E.030 (2020).....	64
<b>Tabla II- 3:</b> Periodos TP y TL por perfil de suelo según norma E.030 (2020).....	64
<b>Tabla III- 1:</b> Resumen de metrado de cargas en vigas.....	101
<b>Tabla III- 2:</b> Resumen de metrado de carga en losas.....	102
<b>Tabla III- 3:</b> Propiedades del concreto .....	102
<b>Tabla III- 4:</b> Resumen de pre-dimensionamiento de vigas.....	103
<b>Tabla III- 5:</b> Factores para pre-dimensionamiento de columnas .....	105
<b>Tabla III- 6:</b> Resumen de pre-dimensionamiento de columnas .....	105
<b>Tabla III- 7:</b> Resumen de pre-dimensionamiento de muros de corte.....	106
<b>Tabla III- 8:</b> Estructuración de Sistema Aporticado.....	107
<b>Tabla III- 9:</b> Estructuración de Sistemas SACHiNx-R8.....	112
<b>Tabla III- 10:</b> Estructuración de Sistemas SAEHiNx-R8 .....	113
<b>Tabla III- 11:</b> Estructuración de Sistemas SAPHiNx-R8 .....	114
<b>Tabla III- 12:</b> Estructuración de Sistemas SACHiNx-R7.....	115
<b>Tabla III- 13:</b> Estructuración de Sistemas SAEHiNx-R7 .....	116
<b>Tabla III- 14:</b> Estructuración de Sistemas SAPHiNx-R7 .....	117
<b>Tabla III- 15:</b> Estructuración de Sistema Dual .....	118
<b>Tabla III- 16:</b> Parámetros de espectro de diseño preliminar para sistemas Aporticados.....	131
<b>Tabla III- 17:</b> Parámetros de espectro de diseño preliminar para sistemas Duales .....	132
<b>Tabla III- 18:</b> Verificación de clasificación de sistemas estructurales Aporticado y Dual.....	133
<b>Tabla III- 19:</b> Irregularidad por Esquinas Entrantes .....	134
<b>Tabla III- 20:</b> Irregularidad por Dicontinuidad de Diafragma.....	135
<b>Tabla III- 21:</b> Irregularidad por Sistemas No Paralelos.....	135
<b>Tabla III- 22:</b> Irregularidad por Geometría Vertical.....	136
<b>Tabla III- 23:</b> Irregularidad de Peso en sistemas Aporticados y Duales.....	137
<b>Tabla III- 24:</b> Irregularidad de Rigidez en sistemas Acartelados .....	138
<b>Tabla III- 25:</b> Irregularidad de Rigidez en sistemas Duales .....	139
<b>Tabla III- 26:</b> Irregularidad de Resistencia en sistemas Aporticados.....	140
<b>Tabla III- 27:</b> Irregularidad de Resistencia en sistemas Duales .....	141
<b>Tabla III- 28:</b> Irregularidades Torsionales en sistemas Aporticados .....	142
<b>Tabla III- 29:</b> Irregularidad Torsional en sistemas Duales .....	143
<b>Tabla III- 30:</b> Periodos traslacionales en X e Y del SEA (izq. a der.).....	145
<b>Tabla III- 31:</b> Periodos traslacionales en X e Y del SED (izq. a der.).....	146
<b>Tabla III- 32:</b> Verificaciones sísmicas estáticas para factores de escalamiento para sistemas Aporticados y Duales.....	146
<b>Tabla V-1:</b> Variabilidad en costos de encofrado y concreto según los metrados en Vigas con y sin Acartelamiento de la viga principal más larga.....	210
<b>Tabla V-2:</b> Variabilidad en costos de encofrado y concreto según los metrados en Vigas con y sin Acartelamiento de la viga secundaria más corta.....	210



## Índice de figuras

<b>Figura II- 1:</b> Mapa conceptual de tipos de análisis estructurales.....	23
<b>Figura II- 2:</b> Procedimientos del análisis estructural dinámico .....	25
<b>Figura II- 3:</b> Modos de vibración para una viga y sus respectivas formas modales.....	26
<b>Figura II- 4:</b> Espectro de respuesta de aceleraciones del sismo El Centro (1940).....	27
<b>Figura II- 5:</b> Mapa conceptual de métodos de análisis estructural .....	28
<b>Figura II- 6:</b> Variables de campo en análisis estructural de viga por MEF: .....	30
<b>Figura II- 7:</b> Elementos finitos en mallado para análisis en una, dos o tres dimensiones .....	30
<b>Figura II- 8:</b> Mallado con elementos finitos tridimensionales para análisis de viga .....	31
<b>Figura II- 9:</b> Interpolación de elemento superficial en cada uno de sus nodos.....	33
<b>Figura II- 10:</b> Ensamblaje de la matriz de rigidez global .....	33
<b>Figura II- 11:</b> Cuadro de ecuaciones diferenciales de esfuerzos y deformaciones internas .....	34
<b>Figura II- 12:</b> Sistema Estructural Aporticado de concreto armado .....	36
<b>Figura II- 13:</b> Sistema Estructural Dual de concreto armado .....	36
<b>Figura II- 14:</b> Nudo de pórtico conceptual configurado con elementos no prismáticos.....	37
<b>Figura II- 15:</b> Parametrización analítica de una viga no prismática .....	38
<b>Figura II- 16:</b> Columnas no prismáticas configuradas en una estructura contemporánea .....	38
<b>Figura II- 17:</b> De arriba abajo: Acartelamiento escalonado, ahusado y parabólico.....	39
<b>Figura II- 18:</b> Secciones cónicas.....	39
<b>Figura II- 19:</b> Acueducto romano sobre Sistema Estructural Aporticado Acartelado .....	40
<b>Figura II- 20:</b> Pórtico configurado con Viga Acartelada Circularmente .....	41
<b>Figura II- 21:</b> Puente “Santa Trinidad” en Florencia, Italia .....	42
<b>Figura II- 22:</b> Pórtico configurado con Viga Acartelada Elípticamente.....	42
<b>Figura II- 23:</b> Ploteo de Parábola vs Catenaria.....	43
<b>Figura II- 24:</b> Salón principal del Royal Horticultural Halls.....	44
<b>Figura II- 25:</b> Pórtico configurado con Viga Acartelada Parabólicamente .....	45
<b>Figura II- 26:</b> Mapa de los terremotos globales sucedidos de 1900 a 2013 .....	46
<b>Figura II- 27:</b> Mapa de la geotectónica continental sudamericana .....	46
<b>Figura II- 28:</b> Mapa de la ubicación de las fallas geológicas activas en la región de Cusco.....	47
<b>Figura II- 29:</b> Mapa de clases de suelos (SUCS) en la ciudad de Cusco.....	48
<b>Figura II- 30:</b> Efectos del comportamiento sísmico no sismorresistente.....	49
<b>Figura II- 31:</b> Modelos dinámicos analíticos de estructuras: .....	50
<b>Figura II- 32:</b> Modelo dinámico analítico tridimensional considerando torsión .....	51
<b>Figura II- 33:</b> Modelo dinámico analítico a cortante en equilibrio.....	51
<b>Figura II- 34:</b> Espectros de respuesta de movimientos de terreno en la subestación del distrito de riego del Valle Imperial en El Centro, California (18/05/1940-09/02/1956-08/04/1968) para $\zeta=2\%$ .....	61
<b>Figura II- 35:</b> Espectros de diseño (pseudo-aceleración vs. periodo).....	62
<b>Figura II- 36:</b> Zonificación sísmica del Perú para valores de factor Z .....	63
<b>Figura II- 37:</b> Ejemplos de Espectros de Diseño para las zonas sísmicas del Perú en perfiles de suelo muy rígidos .....	65
<b>Figura II- 38:</b> Irregularidad Torsional según la norma E.030 (2020).....	636



<b>Figura III- 1:</b> Distancia de la edificación a la Falla de Tambomachay .....	98
<b>Figura III- 2:</b> Planos de las plantas arquitectónicas de la "residencial Kala" .....	99
<b>Figura III- 3:</b> Peraltes máximos de acartelamiento para Vigas Acarteladas .....	108
<b>Figura III- 4:</b> Configuración de Vigas Acarteladas -Na .....	119
<b>Figura III- 5:</b> Configuración de Vigas Acarteladas -Nb .....	119
<b>Figura III- 6:</b> Configuración de Vigas Acarteladas -Nc .....	119
<b>Figura III- 7:</b> Trazo de ejes y niveles en ARSAP 2022 .....	119
<b>Figura III- 8:</b> Trazos y niveles establecidos .....	120
<b>Figura III- 9:</b> Definición de propiedades del concreto .....	120
<b>Figura III- 10:</b> Definición de secciones de elementos tipo barra .....	121
<b>Figura III- 11:</b> Definición de espesores de elementos tipo panel .....	121
<b>Figura III- 12:</b> Idealización analítica del sistema SEA en ARSAP 2022 .....	122
<b>Figura III- 13:</b> Idealización analítica del sistema SED en ARSAP 2022 .....	122
<b>Figura III- 14:</b> Dibujo de Sistemas Estructurales con Vigas Acarteladas en Revit 2022 .....	123
<b>Figura III- 15:</b> Idealización analítica de elementos estructurales en Revit 2022 .....	123
<b>Figura III- 16:</b> Idealización analítica de sistemas Aporticados SAC/SEA/SAP en ARSAP 2022 .....	124
<b>Figura III- 17:</b> Idealización analítica de sistemas Duales SAC/SEA/SAP en ARSAP 2022 .....	124
<b>Figura III- 18:</b> Asignación de apoyos empotrados en ARSAP 2022 .....	125
<b>Figura III- 19:</b> Definición y asignación de diafragmas semirrígidos con distribución de carga unidireccional en losas aligeradas .....	126
<b>Figura III- 20:</b> Definición y asignación de diafragmas semirrígidos con distribución de carga bidireccional en losas macizas .....	126
<b>Figura III- 21:</b> Definición y asignación de modelo de cálculo "shell" en Vigas Acarteladas .....	127
<b>Figura III- 22:</b> Definición y asignación de modelo de cálculo "shell" en muros estructurales .....	127
<b>Figura III- 23:</b> Asignación de caso de carga "Peso propio" en ARSAP 2022 .....	128
<b>Figura III- 24:</b> Asignación de caso de carga "Carga muerta" en ARSAP 2022 .....	128
<b>Figura III- 25:</b> Asignación de caso de carga "Carga viva" en ARSAP 2022 .....	129
<b>Figura III- 26:</b> Mallado MEF de muros estructurales en ARSAP 2022 .....	129
<b>Figura III- 27:</b> Mallado MEF de Vigas Acarteladas en ARSAP 2022 .....	130
<b>Figura III- 28:</b> Parametrización del análisis estructural tipo Modal .....	130
<b>Figura III- 29:</b> Conversión de cargas y pesos a masa modal .....	131
<b>Figura III- 30:</b> Asignación de espectro preliminar para sistemas Acartelados en ARSAP 2022 .....	132
<b>Figura III- 31:</b> Asignación de espectro preliminar para sistemas Duales en ARSAP 2022 .....	132
<b>Figura III- 32:</b> Asignación de apoyos y liberaciones con habilitación traslacional en X o Y para sistemas Aporticados y Duales .....	144
<b>Figura III- 33:</b> Asignación de excentricidades en los parámetros del análisis modal .....	145
<b>Figura III- 34:</b> Amplificación del espectro sísmico de diseño en dirección X para sistemas Aporticados, en ARSAP 2022 .....	147
<b>Figura III- 35:</b> Amplificación del espectro sísmico de diseño en dirección Y para sistemas Aporticados, en ARSAP 2022 .....	147
<b>Figura III- 36:</b> Amplificación del espectro sísmico de diseño en dirección X para sistemas Duales, en ARSAP 2022 .....	148
<b>Figura III- 37:</b> Amplificación del espectro sísmico de diseño en dirección Y para sistemas Duales, en ARSAP 2022 .....	148



<b>Figura IV- 1:</b> Cortantes de entrepiso en dirección X por Sismo-X de Sistemas SEA vs SED .....	151
<b>Figura IV- 2:</b> Cortantes de entrepiso en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas SEA vs SED .....	151
<b>Figura IV- 3:</b> Cortantes basales en dirección X por Sismo-X de Sistemas Aporticados Acartelados .....	152
<b>Figura IV- 4:</b> Cortantes basales en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Aporticados Acartelados .....	153
<b>Figura IV- 5:</b> Cortantes basales en dirección X por Sismo-X de Sistemas Duales Acartelados .....	155
<b>Figura IV- 6:</b> Cortantes basales en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Duales Acartelados .....	156
<b>Figura IV- 7:</b> Derivas pseudo-plásticas de entrepiso en X por Sismo-X de Sistemas SEA vs SED ..	157
<b>Figura IV- 8:</b> Derivas pseudo-plásticas de entrepiso en Y por Sismo-Y de Sistemas SEA vs SED ..	157
<b>Figura IV- 9:</b> Máximas derivas pseudo-plásticas en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados .....	158
<b>Figura IV- 10:</b> Máximas derivas pseudo-plásticas en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados .....	159
<b>Figura IV- 11:</b> Máximas derivas pseudo-plásticas en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados.....	161
<b>Figura IV- 12:</b> Máximas derivas pseudo-plásticas en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados.....	162
<b>Figura IV- 13:</b> Torsiones modales de entrepiso por Sismo-X de Sistemas SEA vs SED.....	163
<b>Figura IV- 14:</b> Torsiones modales de entrepiso por Sismo-Y de Sistemas SEA vs SED.....	163
<b>Figura IV- 15:</b> Torsiones modales basales por Sismo-X de Sistemas Aporticados Acartelados.....	164
<b>Figura IV- 16:</b> Torsiones modales basales por Sismo-Y de Sistemas Aporticados Acartelados.....	165
<b>Figura IV- 17:</b> Torsiones modales basales por Sismo-X de Sistemas Duales Acartelados .....	167
<b>Figura IV- 18:</b> Torsiones modales basales por Sismo-Y de Sistemas Duales Acartelados .....	168
<b>Figura IV- 19:</b> Excentricidades de entrepiso en eje X de Sistemas Estructurales SEA vs SED.....	169
<b>Figura IV- 20:</b> Excentricidades de entrepiso en eje Y de Sistemas Estructurales SEA vs SED.....	169
<b>Figura IV- 21:</b> Excentricidades de entrepiso en eje X de Sistemas Aporticados Acartelados .....	170
<b>Figura IV- 22:</b> Excentricidades de entrepiso en eje Y de Sistemas Aporticados Acartelados .....	171
<b>Figura IV- 23:</b> Excentricidades de entrepiso en eje X de Sistemas Duales Acartelados.....	173
<b>Figura IV- 24:</b> Excentricidades de entrepiso en eje Y de Sistemas Duales Acartelados.....	174
<b>Figura IV- 25:</b> Momentos modales de volteo por entrepiso alrededor de Y por Sismo-X de Sistemas Estructurales SEA vs SED .....	175
<b>Figura IV- 26:</b> Momentos modales de volteo por entrepiso alrededor de X por Sismo-Y de Sistemas Estructurales SEA vs SED .....	175
<b>Figura IV- 27:</b> Momentos de volteo basales alrededor de Y por Sismo-X de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados .....	176
<b>Figura IV- 28:</b> Momentos de volteo basales alrededor de X por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados .....	177
<b>Figura IV- 29:</b> Momentos de volteo basales alrededor de Y por Sismo-X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados.....	179
<b>Figura IV- 30:</b> Momentos de volteo basales alrededor de X por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados.....	180
<b>Figura IV- 31:</b> Periodos de vibración para modos principales en X de Sistemas SEA vs SED .....	181
<b>Figura IV- 32:</b> Periodos de vibración para modos principales en Y de Sistemas SEA vs SED .....	181
<b>Figura IV- 33:</b> Periodos de vibración para modos principales en X de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados .....	182



<b>Figura IV- 34:</b> Periodos de vibración para modos principales en Y de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados .....	183
<b>Figura IV- 35:</b> Periodos de vibración para modos principales en X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados.....	185
<b>Figura IV- 36:</b> Periodos de vibración para modos principales en Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados.....	186
<b>Figura IV- 37:</b> Desplazamientos pseudo-plásticos de entrepiso en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales SEA vs SED .....	187
<b>Figura IV- 38:</b> Desplazamientos pseudo-plásticos de entrepiso en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales SEA vs SED .....	187
<b>Figura IV- 39:</b> Máximos desplazamientos pseudo-plásticos en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados .....	188
<b>Figura IV- 40:</b> Máximos desplazamientos pseudo-plásticos en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados .....	189
<b>Figura IV- 41:</b> Máximos desplazamientos pseudo-plásticos en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados.....	191
<b>Figura IV- 42:</b> Máximos desplazamientos pseudo-plásticos en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados.....	192
<b>Figura IV- 43:</b> Índices de irregularidad torsional de entrepiso por Sismo-X de Sistemas Estructurales SEA vs SED .....	193
<b>Figura IV- 44:</b> Índices de irregularidad torsional de entrepiso por Sismo-Y de Sistemas Estructurales SEA vs SED .....	193
<b>Figura IV- 45:</b> Índices de irregularidad torsional por Sismo-X de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados.....	194
<b>Figura IV- 46:</b> Índices de irregularidad torsional por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados.....	195
<b>Figura IV- 47:</b> Índices de irregularidad torsional por Sismo-X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados.....	197
<b>Figura IV- 48:</b> Índices de irregularidad torsional por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados.....	198
<b>Figura IV- 49:</b> Pesos estructurales de Sistemas Estructurales SEA vs SED.....	199
<b>Figura IV- 50:</b> Pesos estructurales de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados.....	200
<b>Figura IV- 51:</b> Pesos estructurales de Sistemas Estructurales Duales Acartelados .....	202





## Índice de expresiones

<b>Expresión II-1:</b> Ecuación del movimiento	24
<b>Expresión II-2:</b> Vector de desplazamientos locales	31
<b>Expresión II-3:</b> Vector de fuerzas locales	31
<b>Expresión II-4:</b> Matriz de rigidez local	32
<b>Expresión II-5:</b> Ecuación de equilibrio estático local	32
<b>Expresión II-6:</b> Ecuación de equilibrio estático global	34
<b>Expresión II-7:</b> Tensor de deformaciones	34
<b>Expresión II-8:</b> Tensor de esfuerzos	34
<b>Expresión II-9:</b> Ley de Hooke	34
<b>Expresión II-10:</b> Variación de peralte en Viga Acartelada Circularmente	41
<b>Expresión II-11:</b> Variación de peralte en Viga Acartelada Elípticamente	42
<b>Expresión II-12:</b> Variación de peralte en Viga Acartelada Parabólicamente	44
<b>Expresión II-13:</b> Ecuación del equilibrio dinámico	52
<b>Expresión II-14:</b> Vectores de fuerzas elásticas, de amortiguamiento y de inercia	52
<b>Expresión II-15:</b> Amortiguamiento de Rayleigh	52
<b>Expresión II-16:</b> Ecuación de movimiento amortiguado	53
<b>Expresión II-17:</b> Ecuación modal para un sistema con varios grados de libertad	53
<b>Expresión II-18:</b> Ecuación del movimiento oscilatorio	53
<b>Expresión II-19:</b> Planteamiento del Eigen-problema	53
<b>Expresión II-20:</b> Determinante del Eigen-problema	53
<b>Expresión II-21:</b> Forma polinómica de la determinante del Eigen-problema	53
<b>Expresión II-22:</b> Periodo fundamental de vibración	53
<b>Expresión II-23:</b> Modelo para normalizar Eigen-vectores	53
<b>Expresión II-24:</b> Modelo para normalizar Eigen-vectores respecto a masa	54
<b>Expresión II-25:</b> Condición para normalización de los Eigen-vectores respecto a la masa	54
<b>Expresión II-26:</b> Condiciones de ortogonalidad	54
<b>Expresión II-27:</b> Orto-normalidad respecto a la masa, rigidez y amortiguamiento	54
<b>Expresión II-28:</b> Amortiguamiento viscoso lineal en orto-normalidad	54
<b>Expresión II-29:</b> Separación de variables espacio-temporales	54
<b>Expresión II-30:</b> Ecuación del movimiento amortiguado con variables espacio-temporales	54
<b>Expresión II-31:</b> Ortogonalización de Eigen-vectores con respecto a la masa, rigidez y amortiguamiento	55
<b>Expresión II-32:</b> Ecuación de movimiento ortogonalizada con Eigen-vectores	55
<b>Expresión II-33:</b> Sistema de ecuaciones diferenciales del movimiento	55
<b>Expresión II-34:</b> Factor de participación modal	55
<b>Expresión II-35:</b> Campo de desplazamientos	55
<b>Expresión II-36:</b> Aceleración modal máxima	55
<b>Expresión II-37:</b> Pseudo-aceleración modal-espectral	56
<b>Expresión II-38:</b> Desplazamiento modal-espectral máximo	56
<b>Expresión II-39:</b> Máxima aceleración en el entrepiso $r$ y modo $i$	56
<b>Expresión II-40:</b> Fuerzas sísmicas equivalentes de entrepiso	56
<b>Expresión II-41:</b> Fuerzas cortantes modales de entrepiso	56





<b>Expresión II-42:</b> Desplazamientos modales de entrepiso -----	57
<b>Expresión II-43:</b> Torsiones modales de entrepiso -----	57
<b>Expresión II-44:</b> Momentos modales de volteo de plano -----	57
<b>Expresión II-45:</b> Componentes aritméticos del vector de centro de masa -----	57
<b>Expresión II-46:</b> Componentes integrales del vector de centro de masa -----	58
<b>Expresión II-47:</b> Componentes aritméticos del vector de centro de rigidez -----	58
<b>Expresión II-48:</b> Módulo de Young del concreto armado -----	58
<b>Expresión II-49:</b> Relación de Poisson del concreto armado -----	59
<b>Expresión II-50:</b> Módulo de Corte del concreto armado -----	59
<b>Expresión II-51:</b> Relación de amortiguamiento del concreto armado -----	59
<b>Expresión II-52:</b> Factor de Amplificación Sísmica de la norma E.030 -----	65
<b>Expresión II-53:</b> Factor de Reducción Sísmica de la norma E.030 -----	65
<b>Expresión II-54:</b> Espectro sísmico de diseño (pseudo-aceleraciones vs periodos) -----	65
<b>Expresión II-55:</b> Formulación de derivas y desplazamientos pseudo-plásticos -----	66
<b>Expresión III-1:</b> Pre-dimensionamiento de peralte de viga por momentos flectores -----	103
<b>Expresión III-2:</b> Pre-dimensionamiento de área de columna por fuerzas axiales -----	104



## **Capítulo I: Planteamiento del problema**



## 1. **Ámbito de influencia de la tesis**

### 1.1. *Ubicación geográfica*

La tesis fue desarrollada para una edificación en la ciudad del Cusco, distrito de Cusco, provincia de Cusco, región de Cusco para el contexto técnico, tecnológico y normativo peruano de 2021. Asimismo, fue desarrollada en un gabinete privado de computación para la ingeniería, dispuesto por los recursos del autor.

### 1.2. *Ámbito de influencia teórica*

El ámbito de influencia teórica al cual esta inclinada la presente investigación es a la especialidad de Estructuras de la Ingeniería Civil, Estructuras de Concreto Armado, Sistemas Estructurales No Convencionales, Cálculo Estructural, y específicamente aborda el estudio del Análisis Estructural Sísmico mediante Método de los Elementos Finitos.

## 2. **Identificación del problema de investigación**

### 2.1. *Descripción del problema*

La ciudad de Cusco en su marco geopolítico se encuentra, según estudios externos, sometida a un peligro y riesgo sísmico relativamente medios, siendo esperado que en algún momento en el futuro toda su infraestructura y sus vulnerabilidades sea puesta a prueba súbitamente; por lo que estos factores son necesariamente considerados para el cálculo de estructuras.

En la Ingeniería Civil se busca la seguridad, la durabilidad, la economía y en cuarto lugar la estética de las estructuras a diseñarse las cuales normalmente son calculadas bajo sistemas estructurales convencionales de elementos prismáticos, sin embargo, es posible plantearse nuevas soluciones en orden de optimizar esta filosofía de diseño empleando elementos no prismáticos adecuables y luego, nuevas configuraciones posibles.



Normalmente cuando se estructura una edificación el primer sistema estructural al que se recurre para evaluar si ofrece la rigidez necesaria es al sistema estructural Aporticado, compuesto en su mayoría de columnas. Un sistema estructural Aporticado hasta ciertos casos; primero puede restringir las derivas dentro del rango de lo permitido y, en segundo lugar, demostrar que no acarrea excentricidades de planta muy amplias. No obstante, cuando el área de las plantas de la edificación es demasiada extensa, o el proyecto demanda una estructura para más de seis pisos, o esta presenta irregularidades estructurales geométricas; las secciones de las columnas empiezan a requerir un mayor dimensionamiento para satisfacer los límites permisibles de la norma. Dimensionamiento que, si se aplica, por exigencias del análisis estructural debe ser para la mayoría de las columnas, lo cual en la práctica puede resultar ni tan económico por la cuantía de concreto armado a emplear, ni tan estético al sobresalir de la arquitectura propia en cada uno de los ambientes de las plantas.

Por otra parte, en el sistema estructural Dual la suplantación de algunas columnas por muros de corte permite rigidizar de una manera algo más eficiente la edificación en un sentido y luego, permitir modular las geometrías de las demás columnas. Sin embargo, la incorporación de estos muros también implica varias iteraciones donde se cumpla con los requisitos de distribución de cortante sísmica basal, control de derivas, excentricidades reducidas, economía de material y correspondencia con la arquitectura.

Es por lo que surge la necesidad de investigar si puede haber configuraciones estructurales alternativas con elementos no prismáticos, que al reforzar con ellos los pórticos, optimicen estructuralmente el sistema y ofrezcan rigideces satisfactorias o hasta mejores que los otros sistemas descritos, además de mantener bajas las excentricidades.

## ***2.2. Formulación de la interrogativa del problema***

### ***2.2.1. Problema general***

¿Cómo varían los comportamientos sísmicos entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los comportamientos sísmicos de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; como propuestas a analizarse en concreto armado para el caso residencial multifamiliar “Kala”, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco para 2021?



### 2.2.2. Problemas específicos

Problema específico N°1:

¿Cómo varían las cortantes modales basales analizadas entre los sistemas estructurales Aportcados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las cortantes modales basales analizadas de los sistemas estructurales Aportcado y Dual convencionales; como propuestas en concreto armado para el caso residencial multifamiliar “Kala”, de 8 niveles, en la ciudad de Cusco, 2021?

Problema específico N°2:

¿Cómo varían las máximas derivas pseudo-plásticas analizadas entre los sistemas estructurales Aportcados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las máximas derivas pseudo-plásticas analizadas de los sistemas estructurales Aportcado y Dual convencionales; como propuestas en concreto armado para el caso residencial multifamiliar “Kala”, de 8 niveles, en la ciudad de Cusco, 2021?

Problema específico N°3:

¿Cómo varían las torsiones modales basales analizadas entre los sistemas estructurales Aportcados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las torsiones modales basales analizadas de los sistemas estructurales Aportcado y Dual convencionales; como propuestas en concreto armado para el caso residencial multifamiliar “Kala”, de 8 niveles, en la ciudad de Cusco, 2021?

Problema específico N°4:

¿Cómo varían las excentricidades de entrepiso analizadas entre los sistemas estructurales Aportcados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las excentricidades de entrepiso analizadas de los sistemas estructurales Aportcado y Dual convencionales; como propuestas en concreto armado para el caso residencial multifamiliar “Kala”, de 8 niveles, en la ciudad de Cusco, 2021?

Problema específico N°5:

¿Cómo varían los momentos modales de volteo basales analizados entre los sistemas estructurales Aportcados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los momentos modales de volteo basales analizados de los



sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; como propuestas en concreto armado para el caso residencial multifamiliar “Kala”, de 8 niveles, en la ciudad de Cusco, 2021?

Problema específico N°6:

¿Cómo varían los periodos de vibración entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los periodos de vibración analizados de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; como propuestas en concreto armado para el caso residencial multifamiliar “Kala”, de 8 niveles, en la ciudad de Cusco, 2021?

Problema específico N°7:

¿Cómo varían los máximos desplazamientos pseudo-plásticos entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los máximos desplazamientos pseudo-plásticos analizados de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; como propuestas en concreto armado para el caso residencial multifamiliar “Kala”, de 8 niveles, en la ciudad de Cusco, 2021?

Problema específico N°8:

¿Cómo varían los índices de irregularidad torsional entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los índices de irregularidad torsional analizados de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; como propuestas en concreto armado para el caso residencial multifamiliar “Kala”, de 8 niveles, en la ciudad de Cusco, 2021?

Problema específico N°9:

¿Cómo varían los pesos estructurales entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los pesos estructurales analizados de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021?



### 3. Justificación de la Investigación

#### 3.1. *Justificación Técnica*

Con la presente investigación se busca aplicar los conocimientos académicos adquiridos de ingeniería estructural para comparar paramétricamente el análisis de cuatro sistemas estructurales en concreto armado, en orden de evaluar sus comportamientos sísmicos en nueve variables de incidencia directa, verificar las ventajas o desventajas obtenidas en el uso de los diferentes sistemas, y finalmente se proceda a proponer los más ventajosos para las solicitudes de servicio de una edificación de ocho niveles para la ciudad de Cusco en 2021.

Ya que la ingeniería busca constantemente la optimización de comportamientos de las estructuras en cuanto a brindar mayores índices de seguridad y durabilidad mecánica en el tiempo de servicio, es necesario investigar nuevas concepciones que puedan resolver problemáticas de resistencia estructural en el país, sabiendo que el Perú (y el Cusco) se encuentran en una zona altamente sísmica, considerando su participación del Cinturón de Fuego del Pacífico, la peligrosidad sísmica local por las fallas activas de la ciudad de Cusco, el riesgo sísmico de las eventualidades para ciertos periodos de retorno y las vulnerabilidades sísmicas actuales en el diseño de edificaciones en concreto armado.

#### 3.2. *Justificación Social*

El crecimiento demográfico urbano en la ciudad del Cusco para zonas residenciales en función a las edificaciones civiles se va desarrollando de manera vertical, lo que significa que existirá la demanda de edificios con más niveles, por lo que los diseños estructurales serán más exigentes en cuanto a los índices de seguridad y comfort percibibles por las personas harán uso de ellos. Tales índices como desplazamientos y rotaciones dinámicos por la respuesta global ante el choque sísmico, deben ser contrarrestados por la metodología de diseño en la cual se estipula una rigidez vertical bien controlada. Esto para que los usuarios de tal edificación sientan que la estructura se encuentra en una cierta estabilidad “suave” que les permita evacuar el edificio sin entrar en pánico ante cualquier eventualidad sísmica. A tal llamado, los ingenieros civiles a cargo del cálculo estructural deberán adecuar los sistemas estructurales existentes a estos desempeños, u optar por otros sistemas no convencionales, con los que puedan resolver estos problemas por parte del usuario.



### ***3.3. Justificación por Viabilidad***

La presente investigación es justificada por la viabilidad de su realización debido a que se contará con la facilidad de acceder y utilizar todos los recursos necesarios. Entre los cuales se pueden nombrar los físicos y subjetivos.

En lo que respecta a recursos físicos se cuenta en primer lugar con los planos arquitectónicos, estudios de mecánica de suelos, estudios de sismicidad, estudios de geología y con las normas técnicas de edificación peruana (debidamente actualizadas).

También se cuenta con las licencias estudiantiles para las herramientas de cálculo computacional de estructuras y la gestión de datos para el análisis y diseño como son:

- Revit 2022
- Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022

Habría que mencionar que también se cuenta con acceso libre a una amplia variedad de artículos científicos, tesis e informes privados, los cuales serán debidamente citados en la bibliografía de esta investigación.

### ***3.4. Justificación por Relevancia***

La Ingeniería Civil respalda la modernización de las técnicas y tecnologías aplicadas al diseño de estructuras para todos los proyectos de infraestructura. En este caso respalda a las metodologías de implementación de nuevos sistemas estructurales o sistemas estructurales no convencionales, con configuraciones novedosas e innovadoras entre elementos estructurales con ciertas propiedades geométricas mejoradas que puedan ofrecer comportamientos sísmicos más seguros ante las máximas eventualidades esperadas.

En esta investigación se plantea evaluar las capacidades de comportamiento sísmico aun no conocidas de los sistemas estructurales Aporticado y Dual incorporados con Vigas Acarteladas Cónicamente en concreto armado, que dicho sistema no es utilizado comúnmente ni diseñado debidamente en nuestra localidad. Asimismo, no existen investigaciones nacionales que lo estudien y/o analicen para conocer ciertas ventajas que pueda brindar sobre un sistema estructural Aporticado o sobre un sistema estructural Dual. Es por ello que esta investigación sería pionera en su estudio.





## 4. Limitaciones de la Investigación

La presente investigación está desarrollada teniendo como probeta el proyecto de edificación multifamiliar de la “Residencial Kala”, construido originalmente en seis pisos y cuyo sistema estructural fue declarado como Dual en concreto armado de resistencia nominal a la compresión de  $210 \text{ kgf/cm}^2$  y acero grado 60, configurado básicamente con veintiún columnas prismáticas rectangulares, un núcleo de ascensor compuesto de tres placas, vigas rectangulares de sección constante, losas aligeradas armadas en una dirección y una losa maciza en el vestíbulo del ascensor.

Sin embargo, los resultados de esta investigación están basados en una hipotética concepción del proyecto de la “Residencial Kala” para ocho niveles, donde se realizan reestructuraciones de la misma para todos los casos de estudio de esta investigación. En función a estas condiciones la investigación también queda limitada a:

- Analizar sistemas estructurales configurados con Acartelamientos netamente aplicados a las vigas de un sistema estructural Aporticado pre-dimensionado y un sistema Dual basado en este, dónde se consideré el núcleo del ascensor.
- Modelar los acartelamientos planteados con fines prácticos de diferenciación geométrica, para lo cual solo se emplean tres secciones cónicas: circular, elíptica y parabólica.
- Modelar los acartelamientos para todos los casos, en solo la cara inferior de las vigas y completamente sobre toda la luz de las vigas.
- Modelar los acartelamientos solo para las vigas apoyadas en los dos extremos, de todos los casos, de acuerdo a una base de sección constante obtenida del pre-dimensionamiento del sistema estructural Aporticado.
- Exceptuar (en todos los casos) del modelamiento de los sistemas estructurales de estudio, el modelamiento de escaleras; para evitar su influencia en los resultados de las rigideces laterales que aportarían.
- Exceptuar del modelamiento de todos los casos, el modelamiento de coberturas, sin embargo, considerando todas las cargas correspondientes de las mismas.
- Analizar el comportamiento sísmico en los sistemas estructurales bajo nueve (9) parámetros globales dinámicos-modales.



- Aplicar los tipos de carga estática lineal de acuerdo a los criterios normados por el Reglamento Nacional de Edificaciones - E.020: Cargas (actualizado).
- Definir linealmente las propiedades mecánicas del concreto armado para todos los casos de acuerdo a los criterios normados por el Reglamento Nacional de Edificaciones - E.060: Concreto Armado (actualizado). Entrando como base un valor de resistencia a la compresión del concreto característico de  $210 \text{ kgf/cm}^2$  y coeficiente de amortiguamiento de 0.05.
- Las condiciones sísmicas de zona 2 ( $Z=0.25$ ), uso de edificación C ( $U=1.0$ ) y “suelos intermedios” de cimentación ( $S=1.2$ ); según las caracterizaciones tomadas en cuenta por el Reglamento Nacional de Edificaciones - E.030: Diseño sismorresistente (actualizado).
- Pre-dimensionar las secciones mínimas de los elementos estructurales de concreto armado para todos los casos de acuerdo a los criterios normados por el Reglamento Nacional de Edificaciones - E.060: Concreto Armado (actualizado).
- Parametrizar y modelar la carga sísmica de acuerdo a un modelo espectral de pseudo-aceleraciones en correspondencia a los criterios normados por el Reglamento Nacional de Edificaciones - E.030: Diseño sismorresistente (actual).
- Analizar los sistemas estructurales para condiciones sísmicas idealizadas mediante un Análisis Estructural tipo Dinámico Modal Espectral Lineal, llevado a cabo por el Método Numérico de Análisis Estructural por Elementos Finitos (MEF) calculado por el programa computacional Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022.

## 5. Objetivos de la Investigación

### 5.1. *Objetivo general*

Comparar los comportamientos sísmicos entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los comportamientos sísmicos de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” de concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco, 2021.



## 5.2. *Objetivos específicos*

### Objetivo específico N°1:

Comparar las cortantes modales basales entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las cortantes modales basales de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco, en 2021.

### Objetivo específico N°2:

Comparar las máximas derivas pseudo-plásticas entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las máximas derivas pseudo-plásticas de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco, en 2021.

### Objetivo específico N°3:

Comparar las torsiones modales basales entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las torsiones modales basales de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco, en 2021.

### Objetivo específico N°4:

Comparar las excentricidades de entrepiso entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las excentricidades de entrepiso de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco y en 2021.

### Objetivo específico N°5:

Comparar los momentos de volteo modales basales entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los



momentos de volteo modales basales de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco y en 2021.

#### Objetivo específico N°6:

Comparar los periodos de vibración entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los periodos de vibración de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.

#### Objetivo específico N°7:

Comparar los máximos desplazamientos pseudo-plásticos entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los máximos desplazamientos pseudo-plásticos de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco y en 2021.

#### Objetivo específico N°8:

Comparar los índices de irregularidad torsional entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los índices de irregularidad torsional de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco y en 2021.

#### Objetivo específico N°9:

Comparar los pesos estructurales entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los pesos estructurales de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.



## **Capítulo II: Marco teórico de la tesis**



## 1. Antecedentes de investigación

### 1.1. Antecedentes a Nivel Nacional

#### 1.1.1. *Vigas de Sección Variable y su influencia en el comportamiento estructural en una vivienda multifamiliar de la ciudad de Huancayo, 2017*

Esta tesis desarrollada para la obtención del título de Ingeniero Civil (Herrera Sanabria, 2017), plantea el análisis del comportamiento sísmico de una estructura de concreto armado construida en la ciudad de Huancayo (con fines de vivienda multifamiliar), esto mediante la comparación técnica de dos estudios de simulación, uno de acuerdo al modelo actual de la edificación sin elementos no prismáticos y otro considerando las Vigas de Sección Variable en su configuración.

Los resultados logrados en la medición e interpretación del comportamiento estructural sísmico para los sistemas estructurales de estudio, según las variables dependientes fueron:

- El modelo con el sistema estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Ahusadamente con ángulos de acartelamiento de  $15^{\circ}$ - $15^{\circ}$  tuvo una reducción máxima de 0.52% de Peso Sísmico frente al modelo con el sistema estructural Aporticado (con Vigas Prismáticas).
- Hubo una amplificación máxima de 1.99% de la Fuerza Cortante Estática Basal obtenida en el análisis del caso Aporticado con VAA  $15^{\circ}$ - $15^{\circ}$  frente al análisis de las vigas del caso Aporticado con Vigas Prismáticas.
- La variación más significativa fue de una reducción de 44.66% de los máximos desplazamientos laterales absolutos del caso Aporticado con VAA  $15^{\circ}$ - $15^{\circ}$ , frente al análisis de vigas del caso de control Aporticado.
- El modelo con el sistema estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Ahusadamente con ángulos de acartelamiento de  $15^{\circ}$ - $15^{\circ}$ , logró una reducción máxima de 55.81% de Deriva de Entrepiso en el plano Y frente al modelo con el sistema estructural Aporticado con Vigas Prismáticas.



### 1.1.2. Vigas Acarteladas de Concreto Armado, propuesta para su aplicación en el Diseño de Edificios Sismorresistentes

Este artículo académico de la Universidad José Carlos Mariategui en Moquegua-Perú (Vera Barcés, 2015), el estudiante de ese entonces realiza una doble comparación de Análisis Estructurales y Sistemas Estructurales sobre la estructura Aporticada de Concreto Armado de un edificio como prueba funcional, con el objetivo de evaluar bajo esta investigación el desempeño sismorresistente que las Vigas Acarteladas pueden proveer.

El autor indica que el software utilizado, ETABS (v.9.7.2.) no considera las deformaciones por cortante en su cálculo, por lo cual, si se quería demostrar las posibles ventajas de las Vigas Acarteladas de Concreto Armado era preciso acudir al Método Matricial. Para lo cual, realizó un cálculo en un pórtico conceptual donde se obtuvo la Matriz de Rigidez Lateral a partir de la aplicación del Método de Condensación Estática para obtener los coeficientes de flexibilidad y considerando grados de libertad horizontales para los diafragmas.

Los resultados de esta investigación logrados en la comparación de métodos y sistemas estructurales concluyeron que:

- Los coeficientes de las Matrices de Rigidez Lateral para el Método Analítico Viga-Columna y el Método Analítico Equivalente de ETABS difieren en un promedio de 0.67%.
- Los coeficientes de las Matrices de Rigidez Lateral para el Sistema Estructural Aporticado con Vigas Prismáticas, y para el Sistema Estructural Aporticado con Vigas Acarteladas; difieren en un promedio de 0.92%.
- El sistema estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Ahusadamente es 9.1% más liviano que el sistema estructural Aporticado con Vigas Prismáticas, y provee (para razones prácticas) la misma Rigidez Lateral; esto calculado por el Método Estructural Analítico Matricial Viga-Columna.
- Para el Análisis Estructural Dinámico de ambos Sistemas Estructurales por el Método Matricial se concluyó que las derivas calculadas no varían en más de 1%, por lo cual este Método es observado ya que no se lograron los objetivos de la investigación.



## 1.2. *Antecedentes a Nivel Internacional*

### 1.2.1. *Structural Behaviour of Reinforced Concrete Haunched Beam*

Este artículo científico publicado en el International Journal of Scientific & Engineering Research (Jolly y Vijayan, 2016) es producto de la investigación en el análisis estructural sísmico y estático de las Vigas Acarteladas Ahusadamente de concreto armado en comparación contra los mismos análisis ejecutados en Vigas Prismáticas de concreto armado, con el objetivo de determinar si la variabilidad geométrica de la sección de las vigas implica comportamientos estructurales significativos. Los análisis estructurales fueron llevados a cabo en el programa ETABS.

Los resultados logrados en la medición e interpretación del comportamiento estructural para los sistemas estructurales de estudio, según las variables fueron:

- La deflexión obtenida en las Vigas Acarteladas fue menor que de las Vigas Prismáticas. Esto debido primariamente relacionado a la capacidad de las Vigas Acarteladas para redistribuir las fracturas a lo largo de toda la longitud de viga.
- La Intensidad de Esfuerzos del Análisis Pushover en las Vigas Acarteladas fue un 2.73% menor que en las Vigas Prismáticas.
- Los Periodos Fundamentales para el sistema estructural Aporticado con Vigas Prismáticas (en todos los casos) fueron ligeramente menores en 2.5% a los Periodos Fundamentales para el sistema estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Ahusadamente (en todos los casos).
- Los análisis para el sistema estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Ahusadamente mostraron como resultados una reducción promedio de 14.5% de la Cortante Sísmica Basal frente a los análisis del sistema estructural Aporticado con Vigas Prismáticas.
- Al reducirse la Cortante Sísmica Basal mediante la presencia de elementos no prismáticos en la configuración estructural, se pudo controlar así las derivas.

La investigación de las autoras finaliza confirmando que las Vigas Acarteladas Ahusadamente aportan un mejoramiento del performance del sistema estructural, además se derivan otras ventajas con su incorporación como: Uso más eficiente de acero y concreto; reducción del peso de la estructura, para una rigidez lateral dada, facilitación del paso de instalaciones eléctricas y sanitarias y razones estéticas.





### 1.2.2. *Effect of Haunched Beams in Moment Resisting RC Frames*

Este artículo científico publicado en el International Journal of Civil Engineering and Technology e indexado por Scopus (Priyanka et al., 2017) reseña la investigación llevada a cabo para el estudio de los efectos de la Rigidez adquirida en la Respuesta Sísmica de sistemas estructurales de concreto armado Aportados configurados con Vigas Acarteladas. Calculándose en STAAD-pro.

Los resultados logrados en este estudio concluyeron que:

- El uso de Vigas Acarteladas tipo 1 (RFHB1) en el sistema estructural Aportado genera a la estructura reducciones máximas de Desplazamientos Laterales de 15.172%, 15.855%, 16.876% y 17.281% para las zonas sísmicas II, III, IV y V respectivamente; contra el uso de Vigas Prismáticas. Y el uso de Vigas Acarteladas tipo 2 (RFHB2) en el sistema estructural Aportado genera a la estructura reducciones máximas de Desplazamientos Laterales de 47.342%, 47.554%, 47.672% y 47.752% para las zonas sísmicas II, III, IV y V respectivamente; contra el uso de Vigas Prismáticas.
- La comparación de los resultados obtenidos para los Periodos Naturales analizados del sistema estructural con Vigas Acarteladas RFHB1 sobre el sistema estructural con Vigas Prismáticas, arrojó que se produjo una reducción de esta variable en 17.890%, 18.542%, 17.527%, 34.696%, 39.667% y 39.952% para los modos 1, 2, 3, 4, 5 y 6, respectivamente. Asimismo, con Vigas Acarteladas RFHB2 sobre el sistema estructural con Vigas Prismáticas, arrojó que se produjo una reducción de esta variable en 32.459%, 35.214%, 35.449%, 45.794%, 49.785% y 50.215% para los modos 1, 2, 3, 4, 5 y 6, respectivamente.
- La incorporación de Vigas Acarteladas tipo 1 (RFHB1) en el sistema estructural Aportado genera a la estructura aportaciones máximas de Cortante Basal de 17.412% para las zonas sísmicas II, III, IV y V; contra el uso de Vigas Prismáticas. Mientras que, la incorporación de Vigas Acarteladas tipo 2 (RFHB2) genera a la estructura aportaciones máximas de cortante basal de 25.130% para las zonas sísmicas II, III, IV y V; contra el uso de Vigas Prismáticas.



### 1.2.3. *Concerns Regarding the Seismic Design of Reinforced Concrete Haunched Beams - Study Case: [Failure mechanisms for a] 12-story [RC framed with Haunched Beams] building in Mexico City*

Los estudios analíticos de este caso fueron conducidos por el Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Illinois, que luego son revisados por las observaciones del ingeniero Arturo Tena-Colunga para el ACI Structural Journal 91-S28 (Tena Colunga A. , 1994), donde según una edificación de 12 pisos con una estructura de concreto armado en un sistema estructural Apertado con Vigas Acarteladas Ahusadamente construida en el suelo arenoso de la Ciudad de México, se estudia como fallaría dicha estructura considerando rotulamiento plástico en los nudos entre sus elementos estructurales, tanto en los nudos viga-columna como en los nudos de transición brusca de peralte de este tipo de vigas.

Se halló que el mecanismo de falla usualmente asociado con los códigos de edificación, el cual se refiere al rotulamiento en la cara de todas las vigas de la estructura con una magnitud de  $0.174*W$  (peso de la estructura =2445 ton-f), no es el que conlleva al resultado de la Mínima Fuerza Cortante Basal Ocasionante, en comparación con los demás mecanismos.

La capacidad de resistencia a la Cortante Basal Sísmica de la estructura es finalmente dictada, en este estudio, por un mecanismo compuesto de falla, donde las rótulas plásticas se forman en:

- 1) La base de las columnas a nivel de terreno
- 2) La cabeza de las columnas del quinto piso.
- 3) Las caras de viga derechas y las partes de transición menos peraltada izquierdas de las vigas de la base hasta el cuarto piso.

Para el cual la capacidad resulta en  $0.133*W$  que es la reducción en 23.6% para el mecanismo de falla normalmente asociado a códigos de construcción. Para lo cual este caso se aplicaba a la realidad de la estructura, dado que se construyó con la práctica de cortar el refuerzo longitudinal en los Acartelamientos Ahusados, lo que conllevaba a menores capacidades de momento flector de las requeridas en la zona intermedia menos peraltada, y por lo tanto ese sería su mecanismo de falla, concluye el estudio.



#### 1.2.4. *Behavior of Reinforced Concrete Haunched Beams subjected to Static Shear Loading*

Para asegurar el comportamiento dúctil de las Vigas Acarteladas de Concreto Armado (VACAs) desde un punto de vista de diseño y capacidad conceptual, los autores (Tena Colunga et al., 2007) proponen entender:

- a) Primeramente, cómo las VACAs resisten fuerzas cortantes bajo cargas estáticas y cargas cíclicas.
- b) En segundo lugar, después de prevenir fallas potenciales a cortante, cómo asegurar el comportamiento dúctil a flexión bajo esas cargas estáticas y cíclicas.

Por lo tanto, bajo estos requisitos se asevera que es importante evaluar el comportamiento a cortante de las VACAs con evidencia experimental.

Las conclusiones a las que se llegaron según las observaciones a los resultados para las variables dependientes fueron:

- La razón por la cual en este estudio las vigas prismáticas soportan mayores  $V_u$  que las VACAs, es debido a que las VACAs tienen en su diseño una sección efectiva rebajada de concreto y que este factor junto al cambio abrupto de peralte contrarrestan a la resistencia a cortante.
- La viga prismática sin refuerzo a cortante colapsó con un desplazamiento de 12 mm, mientras que la viga acartelada TASC $\alpha$ 3-R0 sin refuerzo a cortante colapsó con un desplazamiento de 38 mm.
- A pesar que las VACAs desarrollan resistencias últimas a cortante algo menores con respecto a las vigas prismáticas, las VACAs exhiben una mayor capacidad de deformación (35 % más que el promedio para el  $V_u$ ). Este incremento está primariamente relacionado a la capacidad de las VACAs para redistribuir las fracturas a lo largo de la longitud acartelada como se muestra.
- De estos ensayos, se notó un patrón de mecanismo en arco de agrietamiento para las VACAs, debido a la presencia de estratos de compresión inclinados. Estos estratos se formaron, según se observa, entre el punto de aplicación de carga y las mitades de las longitudes acarteladas. Se pudo concluir que los patrones observados no se propagaron a la sección prismática de las VACAs debido al reforzamiento de los vértices de transición con tres estribos.



### 1.2.5. *Lateral Stiffness of Reinforced Concrete Moment Frames with Haunched Beams*

En este artículo (Tena-Colunga y Martínez-Becerril, 2012) presentado de la 15va Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica llevado a cabo en Lisboa-Portugal (15 WCEE) son comparados los resultados de Rigidez Lateral del Análisis Estructural Sísmico llevados a cabo sobre un Pórtico de Concreto Armado de cinco plantas configurado con Vigas Acarteladas Ahusadamente; entre softwares comerciales de cálculo estructural y la Teoría de Vigas tradicional.

Fue llevado a cabo un Análisis Estructural Estático Lineal con Fuerzas Laterales Equivalentes para los Métodos de Análisis Estructural: 1) Por Variación Lineal de la Rigidez Flexional (ETABS-1) 2) Por Variación Cúbica de la Rigidez Flexional (ETABS-3) 3) Por Teoría Clásica de Vigas (según configuraciones de STAAD-Pro) y 4) Por Teoría Clásica de Vigas (rigurosa en la plataforma DRAIN-2DX). Se aplicó las cargas de 20, 40, 60, 80 y 100 toneladas-fuerza en cada planta (ascendentemente) para los puntos extremos de los pórticos.

Las conclusiones a las que se llegó en esta investigación fueron:

- Las aproximaciones calculadas por STAAD-Pro se alinean en 98% a las aproximaciones calculadas por la Teoría Clásica de Vigas (DRAIN-2DX), considerando las deformaciones por cortante.
- Relativamente aproximaciones pobres fueron calculadas por ETABS-1, alineándose de entre 62% a 80% a las aproximaciones calculadas por la Teoría Clásica de Vigas (DRAIN-2DX), para todos los modelos.
- Aproximaciones razonables fueron calculadas por ETABS-3, alineándose de entre 78% a 88% a las aproximaciones calculadas por la Teoría Clásica de Vigas (DRAIN-2DX), para todos los modelos.
- Las variables más significativas que impactan en las aproximaciones logradas por ETABS o STAAD-Pro fueron el peralte de acartelamiento y la variación de la rigidez a flexión que se le configura al elemento no prismático tipo viga.



### 1.2.6. *Trabes Acarteladas de Concreto Reforzado Continuas diseñadas para fallar por Cortante*

En el presente artículo se prosigue con la investigación liderada por Tena-Colunga (Tena-Colunga et al., 2017) sobre el comportamiento de las Vigas Acarteladas Ahusadamente de Concreto Armado para Falla a Cortante bajo Análisis Estructurales por Métodos Experimentales, siendo para esta oportunidad las condiciones tomadas para cada probeta de ensayo: 1) Condición de apoyo continuo y en doble voladizo, 2) Carga cíclica puntual y 3) Refuerzo transversal considerado. Los objetivos de esta investigación son estudiar: 1) Los patrones de agrietamiento, 2) La degradación de rigidez, 3) Resistencia a Cortante y 4) Disipación de energía de cuatro Vigas Acarteladas en comparación con los resultados para una Viga Prismática.

El conocimiento producido de esta investigación llevó a conclusiones nuevas y confirmaron otras antecedentes:

- Las Vigas Acarteladas Ahusadamente de Concreto Armado ensayadas en este estudio alcanzan (en promedio) resistencias a la Cortante Última tanto por momento positivo como por negativo ( $V_{u\pm}$ ) prácticamente similares ( $V_{u-}=30.615$  ton-f ;  $V_{u+}=21.84$  ton-f) a la resistencias alcanzadas por las Vigas Prismáticas ( $V_{u-}=30.37$  ton-f ;  $V_{u+}=21.52$  ton-f) a partir del ángulo de acartelamiento de  $8.19^\circ$  a mayores.
- Las Vigas Acarteladas de Concreto Armado ensayadas desarrollaron una capacidad de deformación por Cortante Última ( $\delta_u$ ) mayor que las Vigas Prismáticas de Concreto Armado, proporcionalmente al ángulo de acartelamiento llegando a un máximo promedio de los dos tramos de 26.39% más (29.16 mm) bajo momento positivo y un máximo promedio de 22.91% más (24.29 mm) bajo momento negativo.
- Las contribuciones a la resistencia a Cortante Última ( $V_u$ ) por la resistencia del refuerzo inclinado ( $V_{ri}$ ) es significativa tanto como la contribución por la resistencia del refuerzo transversal ( $V_s$ ), desde un valor promedio de 56.59% de esta ( $V_{ri}/V_s$ ) para un ángulo de  $6.39^\circ$  hasta un valor promedio de 97.72% de esta para un ángulo de acartelamiento de  $9.98^\circ$ .



- La degradación de rigidez de las Vigas Acarteladas ensayadas decae cuando mayor es el ángulo de acartelamiento y esta propiedad es mayor que la medida de la Viga Prismática hasta antes del primer agrietamiento ( $K_{agr}/K_{EL}$ ) hasta un promedio de 9.87% más (para  $\alpha=9.98^\circ$ ), pero la degradación es menor en un promedio de 5.89% (para  $\alpha=9.98^\circ$ ) hasta que sucede la falla a cortante ( $K_u/K_{EL}$ ), y vuelve a ser mayor que la degradación de rigidez de la Viga Prismática hasta antes del colapso ( $K_{clps}/K_{EL}$ ) en un promedio de 50.94% (para  $\alpha=9.98^\circ$ ).
- Dadas las observaciones en los patrones de agrietamiento, luego sustentadas con las mediciones extraídas sobre deformabilidad y degradación de rigidez de las Vigas Acarteladas en comparación con la Prismática; se logra argumentar la capacidad que tienen estas vigas de sección variable para redistribuir mejor el agrietamiento en mayor número de grietas, pero de menor espesor.
- Otra propiedad optimizada por el mayor ángulo de acartelamiento frente a las Vigas Prismáticas es el de la disipación de energía, evidenciada a ángulos mayores de  $6.39^\circ$  y partir del ciclo 9 llegando hasta valores de alrededor de 2.35 ton-f\*m.

### 1.2.7. *Shear Failure Mechanism of Reinforce Concrete Haunched Beams*

Este artículo publicado (Hou et al., 2015) en el Journal of Japan Society of Civil Engineers (JSCE) en 2015 apuntó a clarificar el mecanismo de resistencia cortante de las Vigas Acarteladas Ahusadamente de Concreto Armado con múltiples variables dependientes a considerar, recurriendo tanto a análisis experimentales como a análisis numéricos.

Para el Análisis Estructural Estático por el Método Experimental se emplearon 10 especímenes, clasificados en 4 series: 1) La primera serie correspondía a los 4 especímenes Acartelados Ahusadamente con estribos de 6 mm de diámetro; 2) la segunda serie, al espécimen con estribos de 6 mm de diámetro cuyo acartelamiento solo era dimensionado a la geometría del acero de refuerzo longitudinal inferior, mas no en el concreto; 3) la tercera serie, a los 3 especímenes Acartelados Ahusadamente con estribos de 10 mm de diámetro; 4) y la cuarta serie a los 2 especímenes Acartelados Ahusadamente pero con refuerzo longitudinal inferior segmentado en tres partes.



Las conclusiones a las que se llegaron después de los resultados para este análisis fueron que:

- La resistencia a la Cortante Última ( $V_u$ ) del espécimen de la serie 1, con  $b = 0$  mm y  $e = 400$  mm, calificó como la mayor de su serie, siendo las demás de 11.45% a 47.14% menores que este. Teniéndose en cuenta que a medida que “b” incrementaba y “e” se reducía,  $V_u$  disminuía para los especímenes de esta serie.
- La resistencia a la Cortante Última ( $V_u$ ) del espécimen de la serie 3, con  $b = 0$  mm y  $e = 400$  mm, calificó como la mayor de su serie, siendo las demás de 5.30% a 11.50% menores que este. Teniéndose en cuenta que a medida que b incrementaba y e se reducía,  $V_u$  disminuía para los especímenes de esta serie.
- La resistencia a la Cortante Última ( $V_u$ ) del espécimen de la serie 4, con  $b = 300$  mm y  $e = 0$  mm, calificó como la mayor de su serie, siendo el otro espécimen 21.60% menor que este. Teniéndose en cuenta que a medida que b incrementaba y e se reducía,  $V_u$  crecía para los especímenes de esta serie.
- La influencia del incremento de 4 mm en el diámetro de los estribos de los especímenes de la serie 3 frente a los de la serie 1, conllevó a que se alcanzaran resistencias a la Cortante Última mayores en 13.66%, 21.56% y 90.28% según b crecía para 0, 100 y 300 mm respectivamente.
- Después de iniciadas las grietas diagonales en las series 1 y 2, la carga siguió incrementándose hasta la falla, esta inconsistencia observada fue causada por el mecanismo de falla en arco debido a las grietas de desprendimiento por compresión.
- A pesar de que la contribución del acero inclinado en las cartelas provee a la Viga Acartelada Ahusadamente de un mecanismo redistribución de fallas y, por ende, soportar una mayor deformación a cortante para la misma capacidad de resistencia que una viga Prismática con el mismo peralte máximo. Al estudiar el mecanismo de falla en arco semi-objetivamente, se encontró que la localización de este refuerzo longitudinal también provoca una concentración de esfuerzos que después de la falla pretende un desprendimiento del concreto, a menos que el acero de refuerzo se introduzca en menor cuantía o esté segmentado como el de los especímenes de la serie 4.

## 2. Aspectos teóricos pertinentes

### 2.1. *Análisis estructural*

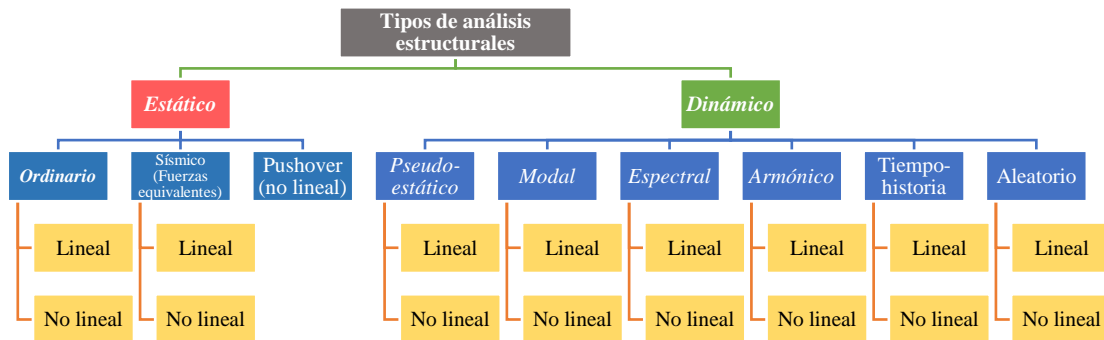
El análisis estructural (Kassimali, 2015) es la predicción del desempeño de una estructura ante las cargas prescritas, y/o efectos externos físico-mecánicos del medio en la que se encuentra emplazada. Las características de interés en el desempeño de una estructura son las fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos de flexión y las deformaciones en los elementos estructurales; así como las reacciones en los apoyos.

El análisis estructural se puede realizar a una estructura bajo las condiciones de equilibrio estático o por condiciones de equilibrio dinámico que gobiernan al concepto de estructura como tal (Kassimali, 2015), basándose ciertamente en las leyes de Newton.

#### 2.1.1. *Tipos de análisis estructurales*

**Figura II- 1**

*Mapa conceptual de tipos de análisis estructurales*



#### 2.1.1.1. *Análisis estructural estático lineal*

Un análisis estructural estático (Lago et al., 2018) aunque sea el más común y más simple a ser llevado a cabo, cubre un rango amplio de simulaciones que se quieran evaluar en una estructura y de respuestas rápidas a interpretar. Para fines de diseño normados, es un acercamiento donde cargas de servicio gravitatorias tradicionales son combinadas con fuerzas equivalentes correspondientes a cargas de viento o sismo son aplicadas a cada entrepiso de la estructura. Luego, la computación de las fuerzas de entrepiso es prescriptiva y la formulación para calcular esas fuerzas





es provista por el reglamento de edificación aplicable en ese momento. Análisis estructurales estáticos son típicamente restringidos para el uso en estructuras regulares, donde el comportamiento dinámico está dominado por el modo fundamental de vibración sin que haya modos significativamente altos o efectos por torsión de planta, y para regiones de baja sismicidad.

Luego, un análisis estático lineal (Kassimali, 2012) se basa en dos suposiciones muy básicas y generalizando son:

- 1) El material de la estructura tiene un comportamiento lineal elástico
- 2) Las ecuaciones de equilibrio formuladas se basan en la geometría indeformada de la estructura.

### **2.1.1.2. Análisis estructural dinámico**

En la mayoría de los análisis estáticos (Carr, 1994) llevados a cabo analíticamente por lo ingenieros, las fuerzas aplicadas eran tratadas como constantes en el tiempo, suponiendo la acción dinámica de las eventualidades del medio como variaciones lentas y aproximables considerando las magnitudes máximas y mínimas de estas, logrando que para diseños estructurales conservadores estos análisis funcionaran. Sin embargo, en la realidad mecánica al aplicar una fuerza  $P$  que varía en el tiempo  $P(t)$  sobre una estructura de altura considerable e irregularidades presentes en su configuración, las fuerzas inerciales y amortiguantes llegan a tener presente un efecto no negligible en la ecuación de equilibrio dinámico para el comportamiento de la estructura.

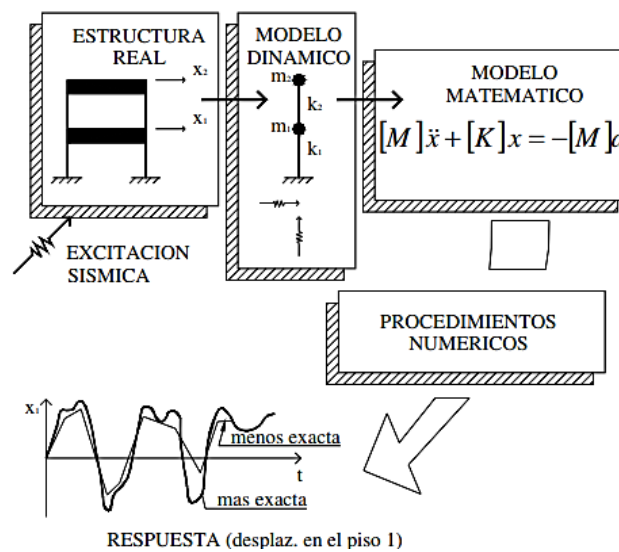
Un análisis estructural dinámico (Cassano, 2009) comienza definiendo a la estructura como un modelo físico de masas ( $M$ ), rigideces ( $K$ ) y una amortiguación equivalente incorporada ( $C$ ) conformando así un sistema dinámico que estará sometido a un conjunto de cargas que varían en el tiempo. En un análisis dinámico las incógnitas a obtener de la estructura son los desplazamientos ( $x$ ), velocidades ( $\dot{x}$ ) y aceleraciones ( $\ddot{x}$ ) en el tiempo; mediante la resolución de una ecuación diferencial de segundo orden:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = P(t) \quad (II-1)$$

donde el acento de un punto denota la diferenciación en el tiempo.

Los efectos de las cargas dinámicas sobre el modelo físico (Cassano, 2009) producen una respuesta dinámica traducida en vibraciones de la estructura, el objetivo de este análisis es obtener las fuerzas producidas del movimiento a lo largo del tiempo de desarrollo para poder traducirlas a esfuerzos y deformaciones en la estructura que permitan diseñarla fehacientemente. Para obtener los resultados son involucrados una serie de análisis matemáticos diferenciales de acuerdo a los grados de libertad que se le considere al sistema estructural, teniendo en cuenta las leyes del material, consideraciones geométricas del modelo y condiciones de contorno.

**Figura II- 2**  
*Procedimientos del análisis estructural dinámico*



RESPUESTA (desplaz. en el piso 1)

**Fuente:** Cassano (2009)

#### 2.1.1.2.1. Análisis estructural dinámico modal

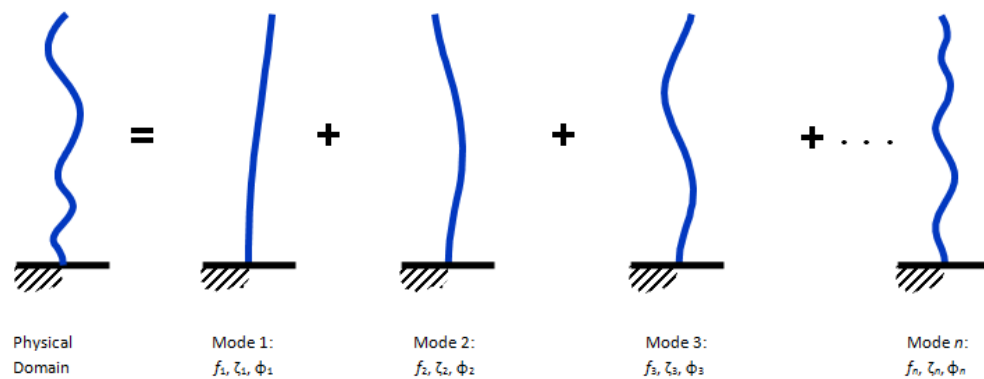
Un análisis modal (He y Fu, 2001) es el proceso para determinar las características dinámicas inherentes a un sistema vibrando, tales como frecuencias naturales, formas de modo y factores de amortiguamiento; y luego ser usados para formular un modelo matemático que lo caracterice.

El análisis modal (He y Fu, 2001) está basado sobre el hecho de que la respuesta vibratoria de un sistema dinámico lineal de tiempo invariante puede ser expresado como la combinación lineal de un conjunto de movimientos armónicos simples llamados modos naturales de vibración. Estos modos son determinados completamente por las propiedades mecánicas del sistema dinámico que son masa, rigidez y amortiguamiento; así como sus distribuciones espaciales.

Bajo notación matricial (He y Fu, 2001), estas son incorporadas hacia un conjunto de ecuaciones diferenciales del movimiento. El principio de superposición de un Sistema dinámico lineal nos permite transformar las ecuaciones hacia un problema de eigen-valores; del cual su solución provee la data modal requerida del sistema. Cada modo encontrado de la resolución es descrito en términos de sus parámetros modales: frecuencia natural, factor de amortiguamiento modal y patrón de desplazamiento característico (forma modal). Donde cada forma modal corresponde a una frecuencia natural. El grado de participación de cada modo natural en la vibración general es determinado por las propiedades de la fuente de vibración y por las formas modales del sistema.

**Figura II- 3**

*Modos de vibración para una viga y sus respectivas formas modales*



Fuente: SVS (2017)

#### 2.1.1.2.1.1. Análisis estructural dinámico modal-espectral

También conocido como análisis de respuesta espectral, (Massachusetts Institute of Technology, 2017) es un tipo de análisis estructural implementado para estimar las respuestas picos del comportamiento de una estructura bajo una carga dinámica del entorno. Estas respuestas pico vienen a ser fuerzas, desplazamientos, esfuerzos locales, etc.; requeridas en el consecuente diseño estructural. El procedimiento de espectro de respuesta está basado en el análisis modal, del cual son usados suficientes modos del sistema por extracción en un procedimiento de selección arbitraria de eigen-frecuencias que pueden incluir eigen-modos y modos residuales. En ingeniería este procedimiento es conveniente para encontrar las respuestas máximas debido a las frecuencias.

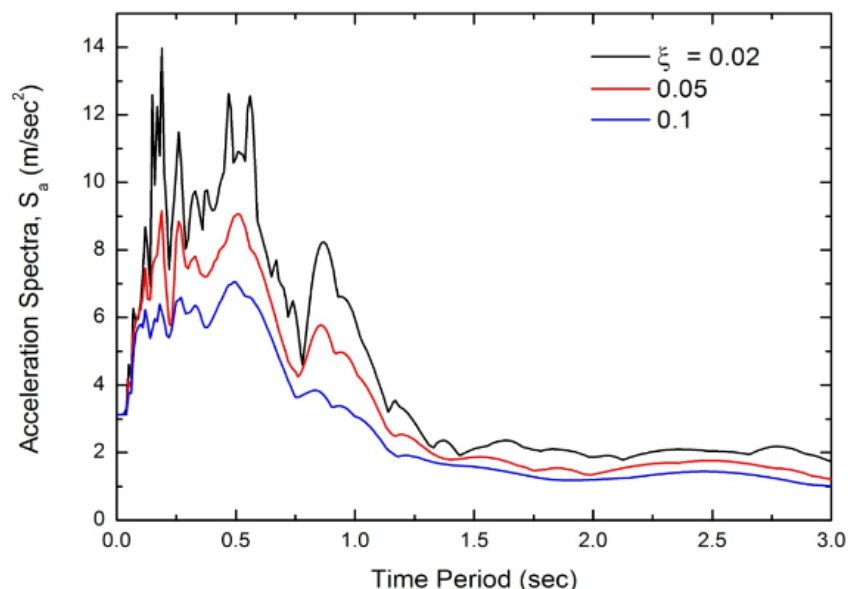


Para la aplicación de este tipo de análisis (Carr, 1994) es necesario la definición de un espectro registrado sea de desplazamientos ( $S_d$ ), pseudo-velocidades ( $S_v = \omega S_d$ ) o pseudo-aceleraciones ( $S_a = \omega^2 S_d$ ) como función de los periodos de vibración de la estructura para un tiempo y amortiguamiento dado o requerido; siendo calificadas con el prefijo de “pseudo” al estar multiplicadas por las eigen-frecuencias y que difieren de los espectros absolutos por 1% o 2%. Espectros que establecen que (CSI, 2014) las estructuras demuestren un periodo más corto en el análisis modal, experimentarían mayores aceleraciones y aquellas que demuestren un periodo más largo experimentarían mayores desplazamientos.

Para poder usar un espectro de respuesta en la estimación de máximos del comportamiento estructural bajo un evento que aún no sucedió, (CSI, 2014) un espectro de diseño debe ser formulado. Este espectro puede ser visto como la envolvente de todos los eventos conocidos y anticipados dentro de ciertos amortiguamientos y parámetros de sitio que son provistos por códigos de diseño internacionales.

**Figura II- 4**

*Espectro de respuesta de aceleraciones del sismo El Centro (1940)*



**Fuente:** Chopra (2012)



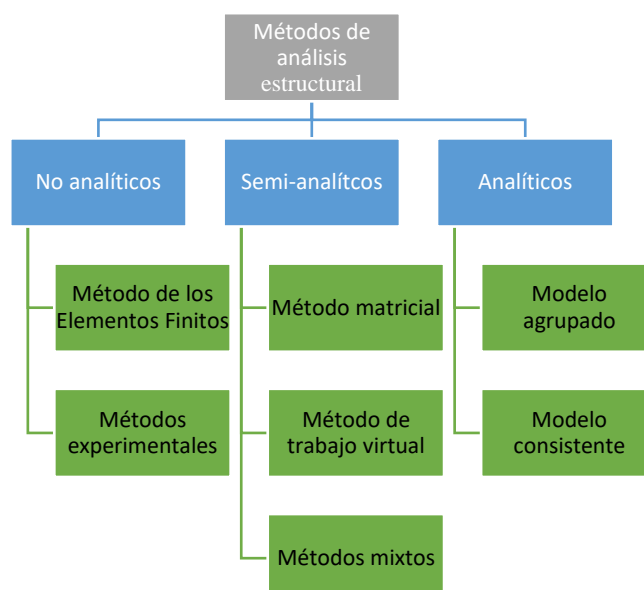
### 2.1.1.2.1.1.1. Análisis estructural dinámico modal-espectral lineal

Considerando el formato lineal para este sub-tipo de análisis dinámico modal se debe tener en cuenta las siguientes simplificaciones de la realidad física de la estructura (McGuire et al., 2001):

- Las fuerzas inerciales son proporcionales a las aceleraciones que las cargas dinámicas generan.
- Las masas son fijas y no varían espacialmente en el análisis.
- Las deformaciones del material obedecen a la Ley de Hooke.
- Las fuerzas de amortiguamiento son proporcionales a las velocidades que las cargas dinámicas generan.
- El comportamiento dinámico de la estructura es “pequeño” suponiendo deformaciones dentro del rango elástico lineal del material, y teniendo en cuenta simplificaciones analíticas.
- La geometría de la estructura permanece no deformada al momento de comenzar el análisis estructural, evitando todos los efectos de pandeo y fuerzas adicionales que se pueda agregar.

### 2.1.2. *Métodos de análisis estructural*

**Figura II- 5**  
*Mapa conceptual de métodos de análisis estructural*





### 2.1.2.1. Métodos de análisis estructural no analíticos

Para realizar un análisis estructural acertado relativamente (Kassimali, 2012), un ingeniero civil debe definir la estructura en varias condiciones como las cargas a considerar, la geometría aproximada de la estructura, las condiciones de soporte y propiedades del material.

Para el cálculo de un análisis estructural (Jarquio, 2005) existen fundamentalmente tres metodologías que ofrecen un acercamiento al comportamiento real de la estructura. Estas metodologías se pueden desarrollar siguiendo formulaciones teóricas básicas a partir del acercamiento por la teoría de mecánica de materiales, o del acercamiento por la teoría de elasticidad, entre otros acercamientos. Lo que caracteriza a estas metodologías llamadas analíticas es que su aplicación lleva mayormente a soluciones cerradas en un número finito de operaciones estándares entre constantes, variables y funciones. Las operaciones llevan a encontrar el estado mecánico de un punto singular determinado en la estructura, más no en todos a la vez.

No obstante, una metodología no analítica permite resolver un campo completo de puntos a partir de modelos numéricos que llegan a calcular un vasto número de ecuaciones diferenciales interrelacionadas simultáneamente, arrojando así un mapeo vectorizado global de la distribución de esfuerzos-deformaciones-desplazamientos de la estructura (Jarquio, 2005). Concretándose esta metodología como una poderosa herramienta de cálculo al simular con alta confiabilidad el comportamiento de respuesta mecánico de cualquier cuerpo y brindando resultados tan precisos como el poder de procesamiento de la computadora pueda dedicar.

Estos resultados de alta confiabilidad (Jarquio, 2005) pueden ser obtenidos también bajo procedimientos experimentales en especímenes a escala real, construyendo modelos numéricos a partir de los resultados brindados por ensayos realizados y controlados en laboratorio. Sin embargo, es necesaria una instrumentación muy específica interna y externamente para así generar también mapeos consistentes en la construcción de campos de puntos.

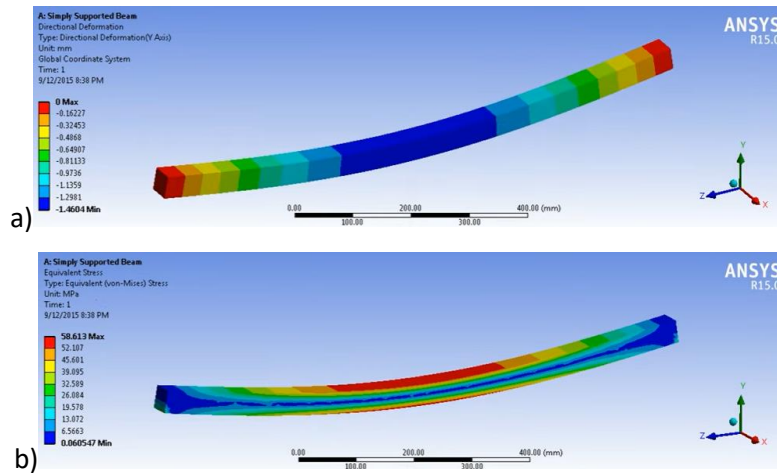


### 2.1.2.1.1. Método de los Elementos Finitos

El Método de los Elementos Finitos (MEF) es un método numérico poderoso (Bathe, 2016) que utiliza técnicas computacionales para resolver modelos matemáticos de problemas físicos en el continuo y ofrecer soluciones aproximadas tanto como se requiera. En la ingeniería estructural el objetivo principal de la aplicación de este método para el análisis estático y dinámico es encontrar en el equilibrio mecánico de la estructura, las variables de campo que son: esfuerzos, deformaciones y desplazamientos.

**Figura II- 6**

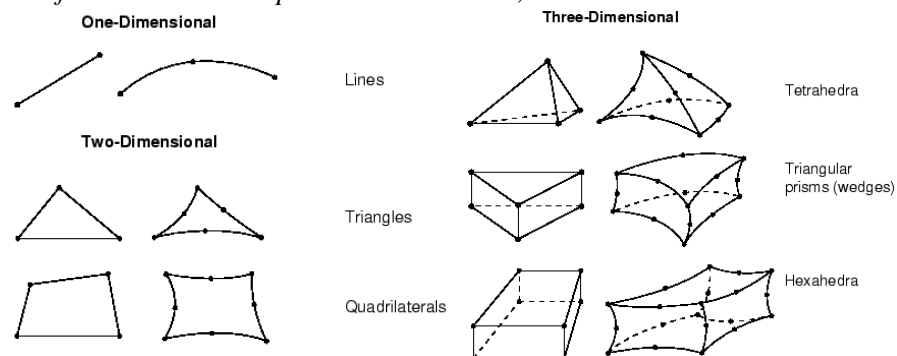
*Variables de campo en análisis estructural de viga por MEF: a) Desplazamientos, y b) esfuerzos*



Una estructura (Bathe, 2016) para la disposición de este método es un continuo que para el análisis debe ser discretizado en varias partes mediante un mallado de n elementos geométricos representativos de cada uno de sus lugares conectados entre sí por nodos formando un sistema reticular. Para este proceso una selección de elementos puede usarse dependiendo de la forma de la estructura, dimensión de análisis, grados de libertad no triviales, no linealidades, etc.

**Figura II- 7**

*Elementos finitos en mallado para análisis en una, dos o tres dimensiones*

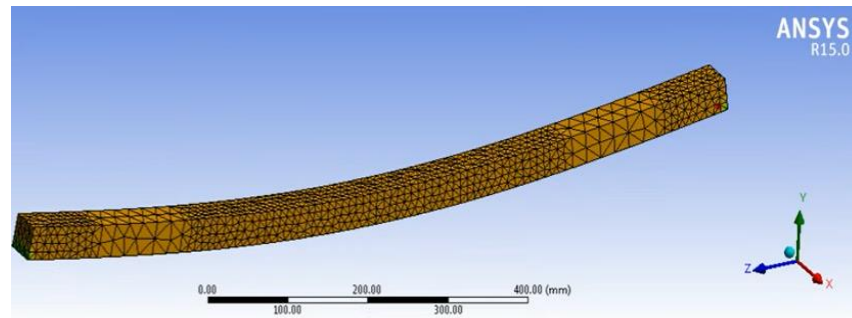


Fuente: Massachusetts Institute of Technology (2017)



**Figura II- 8**

*Mallado con elementos finitos tridimensionales para análisis de viga*



Partiendo desde el enfoque del análisis por desplazamientos (Celigieta Lizarza, 2011), evidentemente la variable de campo fundamental que primeramente se quiere calcular es el desplazamiento de cada nodo en la malla mientras las cargas son aplicadas en estos. Luego, sabiéndose como el cuerpo de desplace hasta el equilibrio se puede calcular los respectivos esfuerzos y deformaciones. Para lo cual, para cada elemento se define el vector  $\{u\}$ , que contiene todos las posibles traslaciones y rotaciones de los  $i$  nodos del elemento finito en las libertades espaciales que se considere. Cada término del vector es denominado como un grado de libertad.

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ w_1 \\ \theta_{xx1} \\ \theta_{yy1} \\ \theta_{zz1} \\ \vdots \\ u_i \\ v_i \\ w_i \\ \theta_{xxi} \\ \theta_{yyi} \\ \theta_{zzi} \end{Bmatrix} \quad (II-2)$$

$$\{f\} = \begin{Bmatrix} f_{x1} \\ f_{y1} \\ f_{z1} \\ m_{xx1} \\ m_{yy1} \\ m_{zz1} \\ \vdots \\ f_{xi} \\ f_{yi} \\ f_{zi} \\ m_{xxi} \\ m_{yyi} \\ m_{zzi} \end{Bmatrix} \quad (II-3)$$

Para calcular las posiciones finales y en equilibrio (Bathe, 2016) de cada nodo del elemento en un estado lineal elástico se recurre a la Ley de Hooke donde cada desplazamiento nodal es proporcional a las respectivas fuerzas y momentos  $\{f\}$  en cada nodo mediante un factor de rigidez  $[k]$  que la geometría seccional del elemento y su material aporten. Estos factores son ordenados en una matriz que tiene la característica de ser cuadrada y simétrica para el análisis lineal, donde su número de columnas y de filas es igual al número de grados de libertad de los nodos del elemento finito.





$$[k] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} & \cdots & k_{1(i-5)} & k_{1(i-4)} & k_{1(i-3)} & k_{1(i-2)} & k_{1(i-1)} & k_{1i} \\ k_{21} & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & k_{2i} \\ k_{31} & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & k_{3i} \\ k_{41} & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & k_{4i} \\ k_{51} & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & k_{5i} \\ k_{61} & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & k_{6i} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ k_{(i-5)1} & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & k_{(i-5)i} \\ k_{(i-4)1} & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & k_{(i-4)i} \\ k_{(i-3)1} & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & k_{(i-3)i} \\ k_{(i-2)1} & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & k_{(i-2)i} \\ k_{(i-1)1} & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & \ddots & k_{(i-1)i} \\ k_{i1} & k_{i2} & k_{i3} & k_{i4} & k_{i5} & k_{i6} & \cdots & k_{i(i-5)} & k_{i(i-4)} & k_{i(i-3)} & k_{i(i-2)} & k_{i(i-1)} & k_{ii} \end{bmatrix} \quad (II-4)$$

Teniéndose entonces la ecuación local de equilibrio para cada elemento finito:

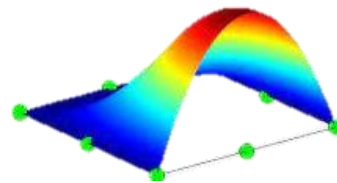
$$\{f\} = [k]\{u\} \quad (II-5)$$

De acuerdo a la formulación matricial del equilibrio en el elemento finito, esta es en sí un sistema de ecuaciones diferenciales lineales (Bathe, 2016) que se debe determinar sustancialmente para obtener los desplazamientos nodales. Para lo cual se recurre a métodos de diferenciación del comportamiento mecánico del elemento finito con el fin de obtener su matriz de rigidez-desplazamiento. El primero de los métodos y el más exacto o “fuerte” (Bathe, 2016) para diferenciar las ecuaciones de equilibrio es el Método Directo, que se basa en las ecuaciones diferenciales explícitas gobernantes de los múltiples comportamientos de los elementos estructurales bajo las diferentes fuerzas independientes y actuantes, así también se considera las condiciones de contorno para la efectiva diferenciación. Sin embargo, este método solo puede ser aplicado a estructuras simples y no es práctico para estructuras de grado ingenieril. Para los casos de estructuras más compuestas se utilizan métodos de resolución de forma “débil” (Bathe, 2016) que pasan a describir las ecuaciones diferenciales de equilibrio en formato de integrales, no obstante, ofrecen resultados aproximados y a menor costo computacional que el primer método. Estos métodos son netamente iterativos, pudiendo nombrarse al Método Variacional basado en el principio del Mínimo de Energía Potencial, o pudiéndose nombrar al Método de Galerkin de Residuos Ponderados (Zienkiewics et al., 2005), donde la función que satisface la ecuación diferencial para cada comportamiento es aproximada como una serie de sumas de funciones de prueba con coeficientes desconocidos, y esta función es auxiliariamente refinada por funciones residuales adicionales, pudiéndose por este medio calcularse el error y determinarse los coeficientes desconocidos.

Lateralmente (Zienkiewics et al., 2005), es necesario definir antes, cómo las variables de campo varían dentro de cada elemento finito y no solo en cada nodo como ya se definió por  $\{u\}$ . Para este cálculo se le es asignado a cada vector de desplazamiento de cada elemento una función de interpolación que tome en cuenta los valores de cada nodo para calcular las variables de campo en el elemento.

**Figura II- 9**

*Interpolación de elemento superficial en cada uno de sus nodos*



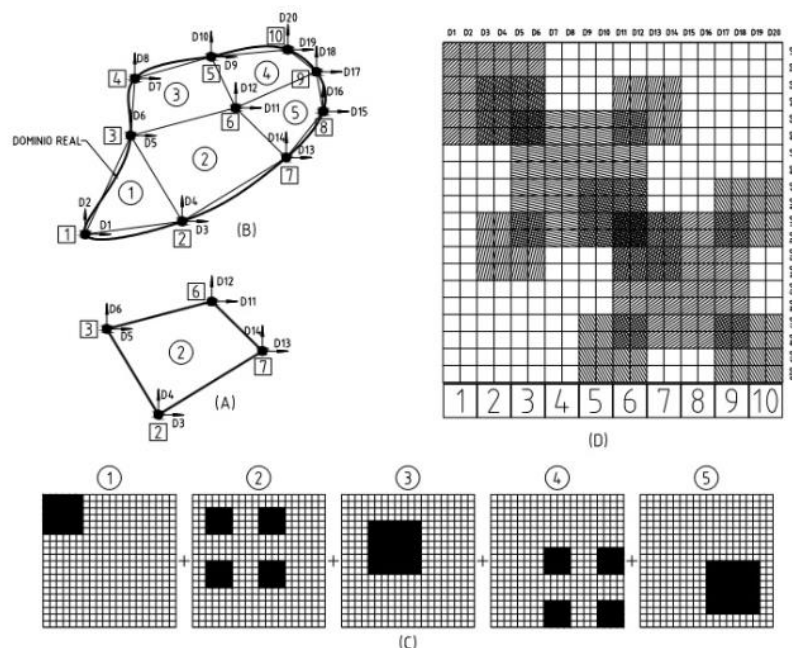
**Fuente:** University of California (2018)

Teniendo todo lo anterior formulado se procede a ensamblar la matriz de rigidez global  $[K]$  (Kassimali, 2012) que reconozca las rigideces de todos los elementos del sistema en un orden arbitrario, continuo, en interconexión nodal y considerando la disposición rotacional de los elementos. Esta matriz también es cuadrada, su número de columnas y de filas es igual al número total de grados de libertad de la estructura.

**Figura II- 10**

*Ensamblaje de la matriz de rigidez global:*

*(A) Elemento tipo cascarón (B) Discretización de dominio, (C) Matrices de rigidez locales, (D) Superposición de matrices locales para conformación de matriz global*



**Fuente:** Enciso (2014)



Siguiendo el orden arbitrario de los nodos de los elementos finitos se ensamblan también las matrices globales; de fuerzas actuantes y reaccionantes  $\{F\}$ ; y de desplazamientos  $\{U\}$ , (Kassimali, 2012) verificando las condiciones de contorno de la estructura. Teniendo entonces totalmente formulados las ecuaciones para cada nodo de cada elemento finito de la malla de la estructura:

$$\{F\} = [K]\{U\} \quad (II-6)$$

Ahora este sistema matricial de un gran número de ecuaciones puede ser resuelto de diversas maneras (Zienkiewicz et al., 2005):

- 1) Resolución por Integración numérica
- 2) Resolución por Inversión matricial
- 3) Resolución por Gradiente Conjugada

Para finalmente calcularse las variables de campo faltantes (Bathe, 2016) como deformaciones relativas ( $\varepsilon$ ) y esfuerzos ( $\sigma$ ) para cada elemento finito:

$$\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \frac{\gamma_{xy}}{2} & \frac{\gamma_{xz}}{2} \\ \frac{\gamma_{yx}}{2} & \varepsilon_{yy} & \frac{\gamma_{yz}}{2} \\ \frac{\gamma_{zx}}{2} & \frac{\gamma_{zy}}{2} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix} \quad ; \quad \sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (II-8)$$

Donde siguiendo la Teoría de Elasticidad Lineal (Bathe, 2016) se tiene que:

$$\sigma = E * \varepsilon \quad (II-9)$$

Luego se obtiene las 15 ecuaciones diferenciales del nuevo sistema a ser resuelto que son:

**Figura II- 11**

*Cuadro de ecuaciones diferenciales de esfuerzos y deformaciones internas*

Ecuaciones de equilibrio interno	Ecuaciones de compatibilidad	Ecuaciones constitutivas
$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + b_x = 0$ $\frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + b_y = 0$ $\frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + b_z = 0$	$\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} ; \gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}$ $\gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} ; \varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x}$ $\varepsilon_{yy} = \frac{\partial u}{\partial y} ; \varepsilon_{zz} = \frac{\partial u}{\partial z}$	$\varepsilon_{xx} = \frac{1}{E} (\sigma_{xx} - \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{zz}))$ $\gamma_{xy} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xy}$ $\varepsilon_{yy} = \frac{1}{E} (\sigma_{yy} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{zz}))$ $\gamma_{xz} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xz}$ $\varepsilon_{zz} = \frac{1}{E} (\sigma_{zz} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy}))$ $\gamma_{yz} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{yz}$



## 2.2. *Sistemas estructurales*

Un sistema estructural (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 2020), en la construcción de edificios, es el método particular de ensamblaje de elementos estructurales para la estructura de una edificación, con la finalidad de recibir cargas aplicadas en sí mismos y transmitir las hacia los apoyos.

### 2.2.1. *Sistemas estructural estructurales convencionales*

Un sistema estructural convencional (SENCICO, 2020) sería aquel que es reconocido popularmente como funcional para un diseño específico normado por una región determinada, calificado para cierto tipo de estructuras edificadas ordinariamente.

En la normativa peruana (SENCICO, 2020), son reconocidos para sistemas estructurales de concreto armado cuatro sistemas estructurales:

- 1) Sistema estructural de Pórticos o Aporticado
- 2) Sistema estructural Dual
- 3) Sistema estructural de Muros Estructurales
- 4) Sistema estructural de Muros de Ductilidad Limitada

Estos sistemas son categorizados (SENCICO, 2020) a la estructuración de acuerdo al primer análisis estructural dinámico, en función del porcentaje de fuerza cortante basal que los muros de corte dispuestos absorben (en los sistemas 1, 2 y 3). O características de diseño de los muros para el sistema 4.

En esta investigación, solo se estudian dos sistemas estructurales convencionales de los ya mencionados, como se estipula desde ya un principio en el título.

#### 2.2.1.1. *Sistema Estructural Aporticado (SEA)*

Una estructuración es calificada para este sistema estructural, cuando sus columnas (SENCICO, 2020) reciben por lo menos el 80% de la fuerza cortante basal sísmica.



**Figura II- 12**

*Sistema Estructural Aporticado de concreto armado*



**Fuente:** Rathod (2017)

### **2.2.1.2. Sistema Estructural Dual (SED)**

Una estructuración es calificada para este sistema estructural, cuando sus muros de corte (SENCICO, 2020) reciben de 20% a 70% de la fuerza cortante basal sísmica, y el resto las columnas.

**Figura II- 13**

*Sistema Estructural Dual de concreto armado*



**Fuente:** Danj (2014)

### **2.2.2. *Sistemas estructurales no convencionales***

Son aquellos sistemas aun no reconocidos formalmente como opciones de diseño y construcción por las normas de regiones determinadas para diseños a solicitaciones específicas (SENCICO, 2020). Pero que aun así pueden demostrar adecuados o mejores comportamientos estáticos o dinámicos para ciertos contextos.



La norma peruana (SENCICO, 2020) menciona en el Artículo N° 4: “*El empleo de sistemas estructurales diferentes a los indicados (Artículo N° 16), es aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, mediante un estudio que demuestre que la alternativa propuesta produce adecuados resultados de rigidez, resistencia sísmica y ductilidad.*”

### 2.2.2.1. Sistemas estructurales con elementos no prismáticos

Este sistema estructural (Hibbeler, 2018) es aquel sea en el que se le incorpore vigas, columnas, muros, losas, etc.; y estos elementos tengan la característica de poseer una sección transversal variable a lo largo de uno o más de sus respectivos ejes geométricos coordinados, generalmente a lo largo de su eje longitudinal.

#### **Figura II- 14**

*Nudo de pórtico conceptual configurado con elementos no prismáticos*

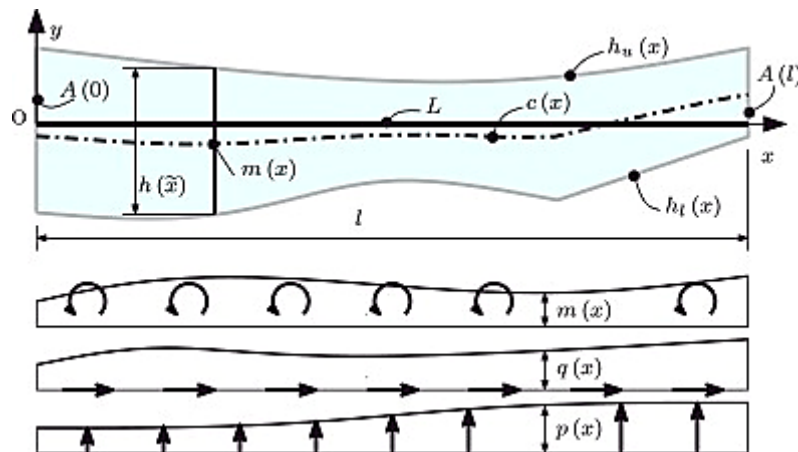


**Fuente:** Veltkamp (2007)

Estos elementos (Hibbeler, 2018) son caracterizados por tener una sección transversal que varía en área de sección y momento de inercia a lo largo de uno o varios de sus ejes. Esta variación puede ser descrita lineal o no linealmente, es decir, geoméricamente estas variaciones pueden ser triangulares o circulares, parabólicas, hiperbólicas, irregulares, etc.



**Figura II- 15**  
*Parametrización analítica de una viga no prismática*



**Fuente:** Balduzzi et al. (2016)

Ya que las capacidades mecánicas de un elemento dependen de su sección transversal (Hibbeler, 2018), un elemento singular como este presenta un nuevo comportamiento de recepción y transmisión de esfuerzos, deformaciones y resistencias a lo largo de cada punto de sus ejes, haciéndolo un elemento más complejo de calcular teniendo que ser evaluado matemáticamente en todos los ejes de variabilidad seccional para parametrizarlo en ecuaciones y encajar estas a las teorías mecánicas-elásticas; obteniéndose así soluciones analíticas aproximadas que también puedan adecuarse a la practicidad de cálculo manual mediante ábacos desarrollados a partir de estas.

**Figura II- 16**  
*Columnas no prismáticas configuradas en una estructura contemporánea*



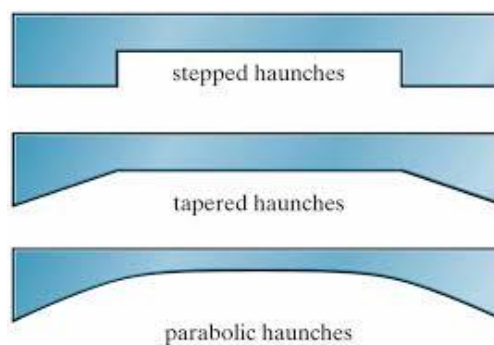
**Fuente:** Hayes (2013)

### 2.2.2.1.1. Sistemas estructurales con Vigas Acarteladas

Típicamente el uso de estos elementos (Hibbeler, 2018) se destinaba al diseño de vigas para puentes de largas luces con la finalidad de ahorrar material en comparación de diseñar vigas sobre-peraltadas de sección prismática. Cabe indicar que el acartelamiento en estos elementos usualmente es explícito para el eje longitudinal considerando que es este eje el que será diseñado para resistir las solicitaciones máximas. Para edificaciones el uso de estos elementos se limita popularmente a diseñarse con acartelamientos regulares y simétricos, pudiendo ser escalonados, acartelamientos ahusados (triangulares), pero no tanto los acartelamientos curvos u otros irregulares debido a las dificultades constructivas.

**Figura II- 17**

*De arriba abajo: Acartelamiento escalonado, ahusado y parabólico*

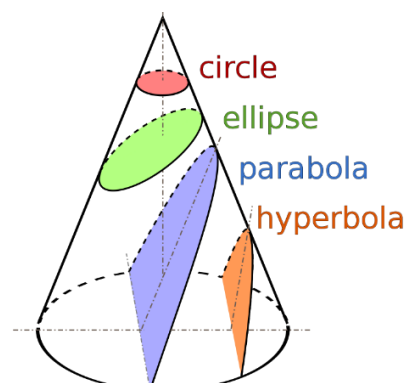


**Fuente:** Hibbeler (2018)

Un acartelamiento de sección cónica, es una no-prismicidad simétrica cuya geometría teórica se refiere a las curvas planteadas por Menecmo en la Antigua Grecia (340 a.C.) halladas por los cuatro casos de la intersección entre un cono y un plano: círculo, elipse, parábola e hipérbola.

**Figura II- 18**

*Secciones cónicas*



**Fuente:** Mathematicae (2012)





Estas curvas se transcriben mediante ecuaciones cuadráticas (Mathematicae, 2012) y en la mecánica se intuye que frente a los otros tipos de acartelamiento descritos, estos ofrecen una suavidad de cambio de sección transversal, sin puntos de inflexión accidentados, es decir, sin cambios de pendiente abruptos. En una viga esto se puede traducir en que los esfuerzos serán transmitidos de mejor manera a lo largo del eje de la viga y no serán fluctuados a concentrarse en estos puntos generando rótulas plásticas tempranamente, pudiendo así resistir un porcentaje más que una viga ahusada o una viga escalonada y aún más que una viga prismática; en lo que respecta a solicitaciones que involucren respuestas de flexión, cortante o la interacción de flexo-cortante.

#### 2.2.2.1.1.1. Sistema Estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Circularmente (SEAVAC)

Este sistema estructural es el de registro más antiguo, dado que sus antecedentes históricos se remontan tanto a puentes y acrópolis del Imperio Griego (Boyd, 1978) como a acueductos, portones y coliseos del Imperio Romano (Robertson, 1969), todos construidos en mampostería de piedra. Las razones de ser implementados en el diseño empírico de pórticos fueron debido a su estética monumental, su resistencia a las cargas de servicio y a su capacidad de rigidez que se le atribuía geoméricamente a la sección circular, catalogándola en ese entonces como la óptima.

#### **Figura II- 19**

*Acueducto romano sobre Sistema Estructural Aporticado Acartelado*



**Fuente:** Mossot (2009)



Para este acartelamiento se tiene que, en los pórticos de la estructura, el peralte de las vigas varía acuerdo a radios que satisfagan las condiciones geométricas de:

$$h(x) = h_{\min} + r - \sqrt{r^2 - x^2} \quad (II-10)$$

$$\text{Dominio: } 0 \leq x \leq \frac{L}{2}$$

$$\text{Rango: } h_{\min} \leq h(x) \leq h_{\text{acar}}$$

Donde:

C: Centro de circunferencia =  $(0, -(h_{\min} + r))$

$h_{\min}$ : Peralte mínimo de pre-dimensionamiento (m)

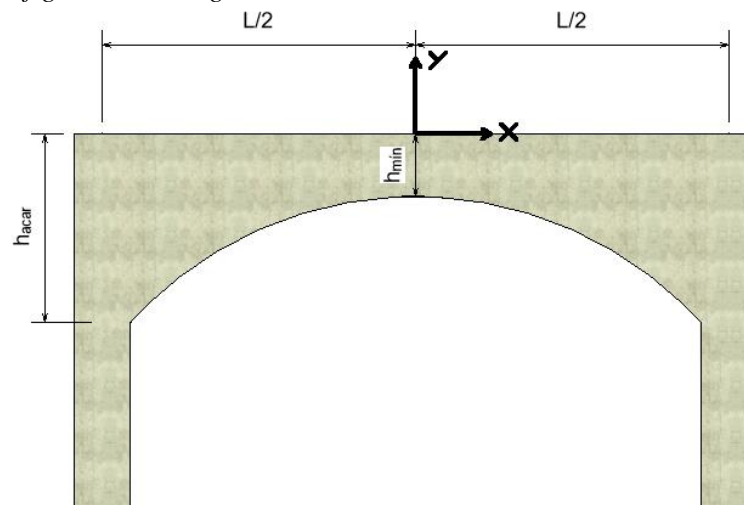
r: Radio de circunferencia (m)

L: Luz de viga (m)

$h_{\text{acar}}$ : Peralte de acartelamiento pre-establecido (m)

**Figura II- 20**

*Pórtico configurado con Viga Acartelada Circularmente*



#### 2.2.2.1.1.2. Sistema Estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Elípticamente (SEAVAE)

Los primeros ejemplares más importantes y prevalecientes de este sistema estructural se dieron en el periodo del Renacimiento en Europa, los cuales fueron utilizados para las concepciones estructurales empíricas de varios puentes. Entre ellos el puente Santa Trinidad (Nizet, 2011) construido de mampostería de piedra en 1569 en Florencia, Italia; cuyos marcos sostenían luces de 29 a 32 m de longitud.



**Figura II- 21**

*Puente “Santa Trinidad” en Florencia, Italia*



**Fuente:** Nizet (2011)

Para este acartelamiento se tiene que, en los pórticos de la estructura, el peralte de la viga varía acuerdo a la función:

$$h(x) = h_{acar} - \sqrt{\left(1 - \frac{x^2}{\left(\frac{L}{2}\right)^2}\right) * (h_{acar} - h_{mín})^2} \quad (II-11)$$

Donde:

C: Centro de elipse =  $(0, -(h_{acar}))$

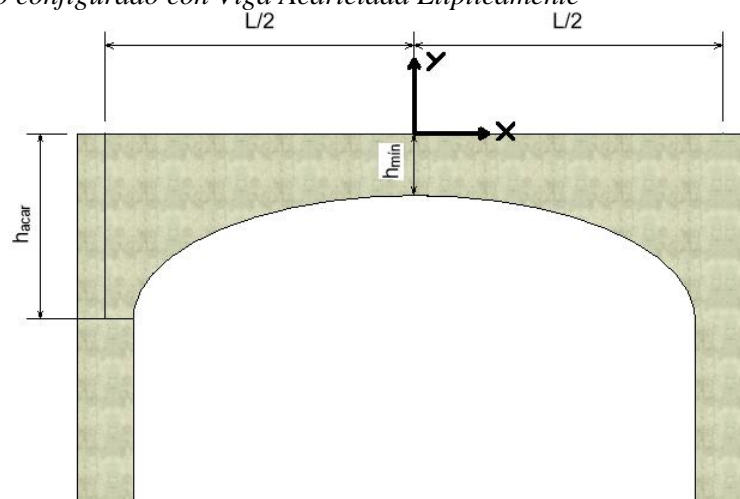
$h_{mín}$ : Peralte mínimo de pre-dimensionamiento (m)

L: Luz de viga (m)

$h_{acar}$ : Peralte de acartelamiento pre-establecido (m)

**Figura II- 22**

*Pórtico configurado con Viga Acartelada Elípticamente*



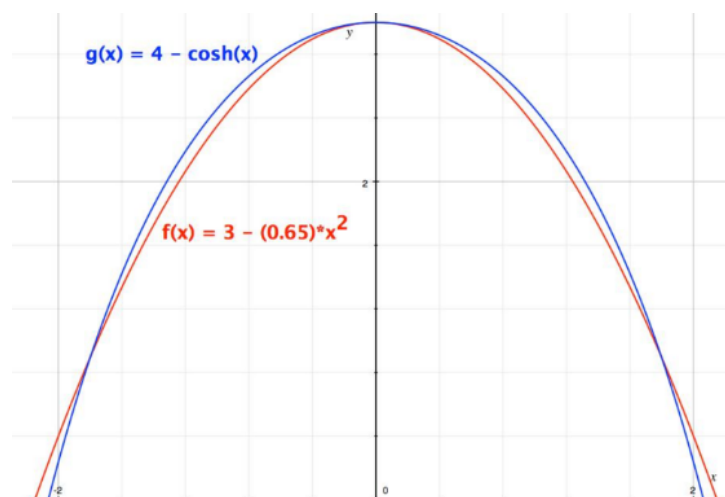


### 2.2.2.1.1.3. Sistema Estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Parabólicamente (SEAVAP)

Este sistema estructural fue el último a incorporarse en estructuras aporticadas, a manera de adaptación de los estudios realizados por Robert Hooke (Ginovart et al., 2017) sobre la Teoría de la Catenaria nombrada al final de su obra “A description of helioscopes and some other instruments” de 1676, y de otros estudios posteriores propiamente de cálculo estructural como “Traité de Méchanique” (1695), “In Lineae Tertii Ordinis Neutronianae” (1717) e “In Essai sur une application de maximis et minimis o quelques problemas de statique, relatifs a l’Architecture” (1773) por Charles-Augustin Coulomb.

Esta sección cónica de acartelamiento es la más especial (Mathematicae, 2012), ya que se asemeja (de entre todas las demás secciones) a la geometría de un Arco Catenario representado por la función general  $f(x) = a + b \cdot \cosh(x)$  (o la línea de conducción de cualquier arco), que en el análisis estructural representa la curva que transmite de manera más eficiente la carga hacia sus apoyos.

**Figura II- 23**  
*Ploteo de Parábola vs Catenaria*



**Fuente:** Dino (2016)

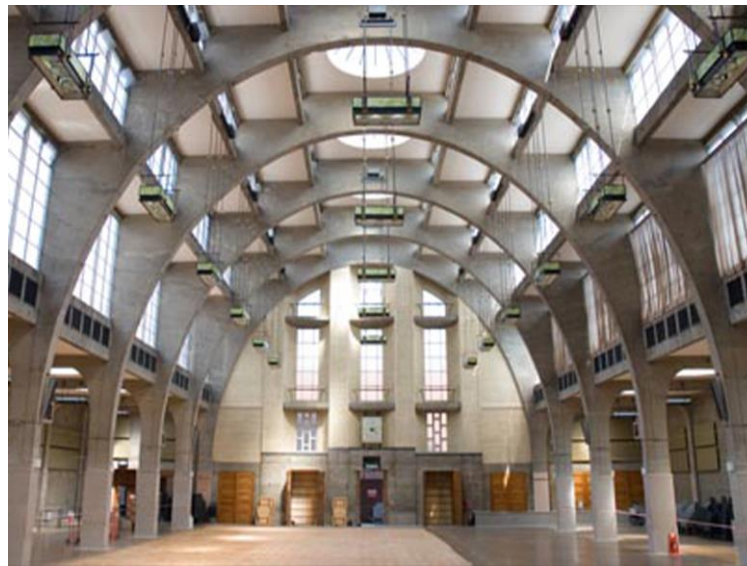
Debido a que en el siglo XVII y XVIII (Dino, 2016) la técnica y recursos para replantear un Arco Catenario debajo de un pórtico o hasta replantear un Arco Parabólico era escasa, no fueron de mucha utilidad práctica hasta el siglo XVIII donde esta configuración estructural para pórticos acartelados fue



revalorado por el arquitecto español Antoni Gaudí para residencias de mampostería de piedra construidas alrededor de 1882. Luego, de acuerdo con las patentes de Monier publicadas en 1877 y el avance de la tecnología para la construcción, se tendría terminada en 1904 la primera estructura de concreto armado con un sistema estructural acartelado parabólicamente que vendría funcionar para los Salones Reales Hortícolas en Londres.

**Figura II- 24**

*Salón principal del Royal Horticultural Halls*



**Fuente:** R.H.S. Enterprises Limited (2018)

En el acartelamiento de sección parabólica el peralte de las vigas varía acuerdo a distancias focales ( $p$ ) que satisfagan las condiciones geométricas de:

$$h(x) = h_{\text{mín}} + \frac{x^2}{4p} \quad (II-12)$$

$$\text{Dominio: } 0 \leq x \leq \frac{L}{2}$$

$$\text{Rango: } h_{\text{mín}} \leq h(x) \leq h_{\text{acar}}$$

Donde:

V: Vértice de parábola =  $(0, -h_{\text{mín}})$

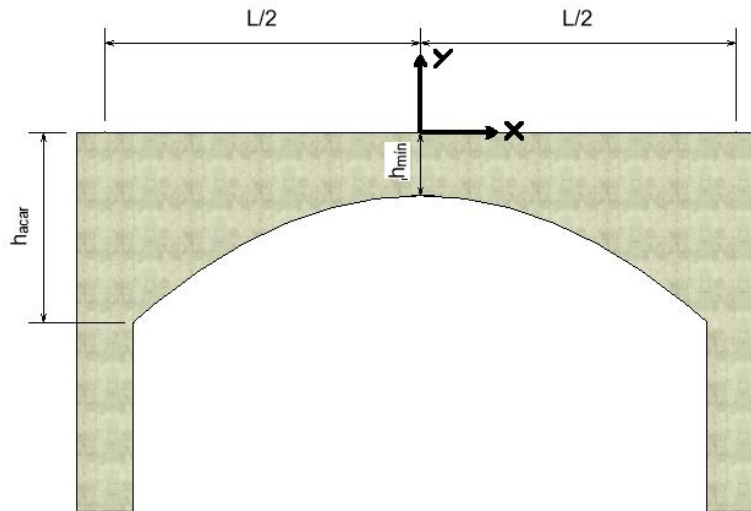
$h_{\text{mín}}$ : Peralte mínimo de pre-dimensionamiento (m)

$p$ : Distancia focal (m)

$L$ : Luz de viga (m)

$h_{\text{acar}}$ : Peralte de acartelamiento pre-establecido (m)

**Figura II- 25**  
*Pórtico configurado con Viga Acartelada Parabólicamente*



## 2.3. Situación sísmica

### 2.3.1. Peligro sísmico

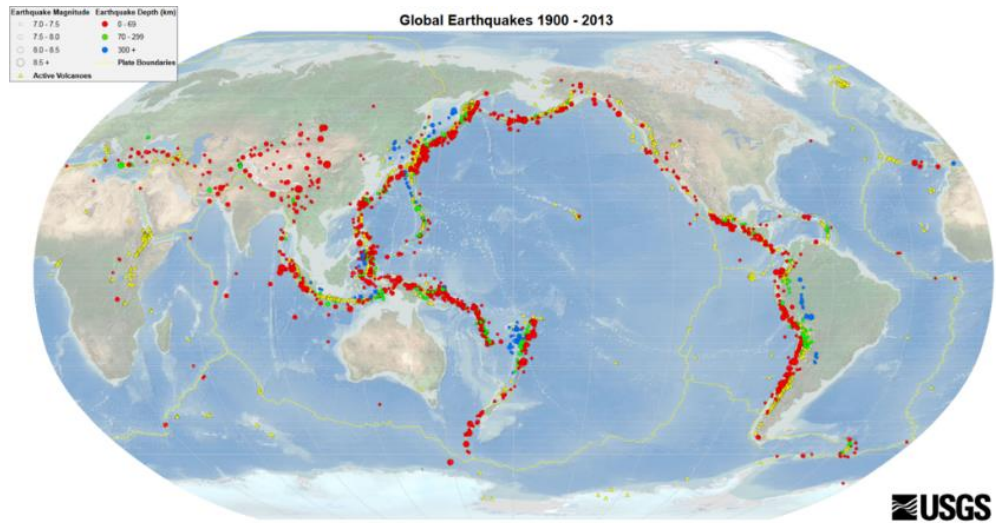
Es bien estudiado que el Perú es un país con alta sismicidad (Guardia Anampa, 2011), lo cual significa que tiene una alta propensión a estar sujeto a constantes sismos de magnitudes medias y significativas con tiempos pequeños de “descanso”, esto debido a liberaciones naturales de energía gracias a las subducciones interplacares más importantes del mundo como las que tienen lugar entre la placa de Nazca del litoral del Océano Pacífico con la placa Sudamericana y últimamente con la placa del Altiplano, siendo dadas estas liberaciones justo a la cercanía del establecimiento político peruano. No es por otra razón que el Perú forme parte de los países que pertenecen al Cinturón de Fuego del Pacífico cuya peligrosidad sísmica indica que se pueden dar eventualidades con ondas superficiales localizadas de 0 a 69 km bajo la corteza terrestre y con magnitudes de 7.0 a 7.5 (USGS, 2013). Este fenómeno a su vez, desencadena continuamente la generación de sistemas de fallas geológicas a lo largo del territorio nacional, tanto sobre la zona al pie del borde Oriental de la Cordillera Andina, afectando a los principales plegamientos del Escudo Brasileño (sistemas de fallas de Moyobamba, Satipo, Madre de Dios, etc.); como sobre la Alta Cordillera y en el Altiplano (sistema de fallas de la Cordillera Blanca, Huaytapallana y Tambomachay).





**Figura II- 26**

*Mapa de los terremotos globales sucedidos de 1900 a 2013*



**Fuente:** USGS Earthquake Hazards Program (2013)

Desde entonces, la correlación entre el número y distribución de fallas que existan en una localidad, y el historial cuantificado de sismos de esa sección ha tenido un constante monitoreo por INGEMMET e INDECI. La zona sur del Perú, desde parte de la región de Ica tiene la singularidad de estar rodeada de tres placas: Nazca, Sudamericana y Altiplánica (Figura II-27). Y pueda que no sea coincidencia que justo el sismo más grande en la era contemporánea del país haya sido en Pisco (M8.0) lugar concéntrico de estas placas; y que también la mayor actividad sísmica se produzca en esa zona de influencia, al igual que sucede con los sismos de Chile, más en el sur.

**Figura II- 27**

*Mapa de la geotectónica continental sudamericana*



**Fuente:** Visualizador de terremotos mundiales del Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana de España

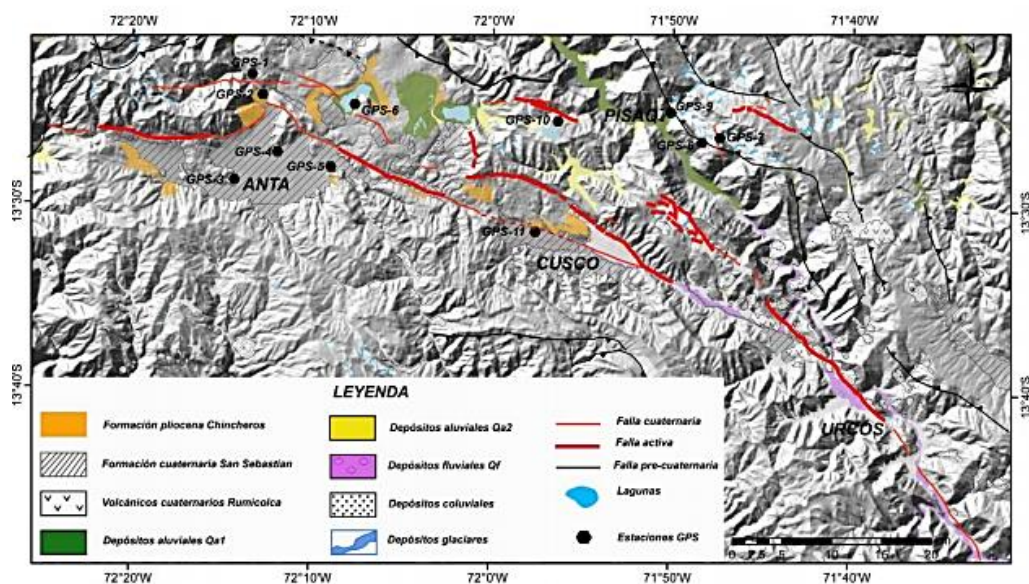


Cusco se encuentra aproximadamente a 515 km de esa colisión tectónica tripartita, y aproximadamente a 150 km de la colisión tectónica: Placa Sudamericana-Placa Altiplánica. La descarga de energía en la historia geológica de Cusco se podría evidenciar, por las 22 fallas activas o sismo-tectónicas (Benavente y Taipe, 2010) que se encontraron en la región, entre las que son más importantes, y se encuentran cercanas a la ciudad del Cusco (Fig. II-28):

- Falla de Tambomachay
- Falla de Tankarpata.
- Falla de K'enko.
- Falla de Wanakaure.
- Falla de Kayra.
- Falla de Wankaro.
- Falla de Pumamarca

**Figura II- 28**

*Mapa de la ubicación de las fallas geológicas activas en la región de Cusco*



**Fuente:** Benavente y Taipe (2010)

Según un estudio del INDECI (Benavente y Baca, 2004), indica que: “Los fenómenos de la geodinámica interna que se manifiestan en la corteza terrestre en forma de Plegamientos, Fallas y Contactos producen discontinuidades en el material rocoso por efecto mecánico, químico o térmico presentando sectores de material de baja resistencia y, en el caso de fallas activas, zonas donde pueden producirse desplazamientos relativos (fallas sismotectónicas) que originan algunos de los sismos de características más perjudiciales en la región”.





### 2.3.2. Vulnerabilidad sísmica

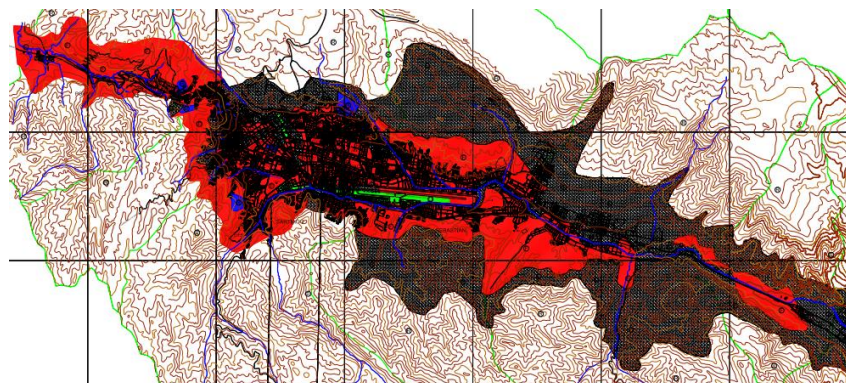
Uno de los principales factores responsables (Benavente y Baca, 2004) de los daños generados en las estructuras lo constituyen las condiciones locales de sitio. Dependiendo de las condiciones geológicas, geomorfológicas y geotécnicas se puede generar amplificación o atenuación de las ondas sísmica. Los estudios de microzonificación sísmica-geotécnica ayudan a evaluar y zonificar de acuerdo al comportamiento dinámico del suelo tomando en cuenta parámetros como el periodo de vibración del suelo, velocidad de propagación de las ondas de corte, propiedades mecánicas del suelo, entre otros.

Dado que a la fecha Cusco (Benavente y Baca, 2004) no cuenta con un mapa de microzonificación sísmica-geotécnica, para elaborar el mapa de riesgo sísmico, se considera y evalúa el mapa de suelos del proyecto Programas Ciudades Sostenibles (PCS), cuyo proyecto evaluó y determinó el tipo de suelo de la ciudad de Cusco (Figura II-32), mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Además (Benavente y Baca, 2004), se cuenta con la evaluación de la capacidad portante, cuyo parámetro depende del tipo de suelo, de las cimentaciones y ensayos de penetración dinámica (SPT) a una profundidad entre 1 a 3 m. Asimismo, se toma en cuenta el mapa de nivel freático, identificado mediante métodos directos e indirectos tales como presencia de vegetación, calicatas o perforaciones. En general, estos mapas muestran la presencia de suelos finos (rojo) y gravas (gris) en la depresión de Cusco, con valores típicos de ensayos de penetración estándar característico de suelos medianamente densos a densos correspondiente a suelos del tipo S2 (según norma E-030). Además de presencia de aguas superficiales someras en la zona sur.

#### **Figura II- 29**

*Mapa de clases de suelos (SUCS) en la ciudad de Cusco*



**Fuente:** Benavente y Baca (2004)



Luego, se tiene en consideración que los sistemas estructurales en concreto armado utilizados popularmente en el diseño de las edificaciones de la ciudad del Cusco son: el sistema estructural Aporticado y el sistema estructural Dual. Al no ser debida o suficientemente diseñados por redundancia y rigidez (SENCICO, 2020), estas edificaciones también tienen una cierta vulnerabilidad media que con el paso del tiempo se incrementará debido a las eventualidades que constantemente golpearán a la edificación durante su vida útil.

## 2.4. *Comportamiento sísmico*

Es la respuesta compuesta de una estructura ante una fuerza dinámica provocada por una eventualidad sísmica del medio de su emplazamiento (Barbat y Oller, 1998). Esta eventualidad se traduce básicamente como una liberación de energía en el terreno la cual es recibida por la estructura quien tendrá que mostrar un modo de interacción frente a esta que le permita mantenerse en equilibrio dinámico.

Esta energía es liberada en forma de vibraciones (Barbat y Oller, 1998) que, en un primer momento, golpean a los apoyos de la estructura y estos al estar sujetos a un empotramiento con el terreno empiezan a remedar las vibraciones transmitiendo el movimiento a los demás elementos estructurales. Este movimiento transmitido genera esfuerzos y deformaciones tanto local como globalmente en la estructura, que deben limitarse a un marco de diseño estructural normado para prevenir fallas o colapsos repentinos; es así que deben observarse todos los parámetros significativos de control de comportamiento sísmico para sustentar la seguridad y confort del proyecto.

### **Figura II- 30**

*Efectos del comportamiento sísmico no sismorresistente*



**Fuente:** De Arkitektura (2014)

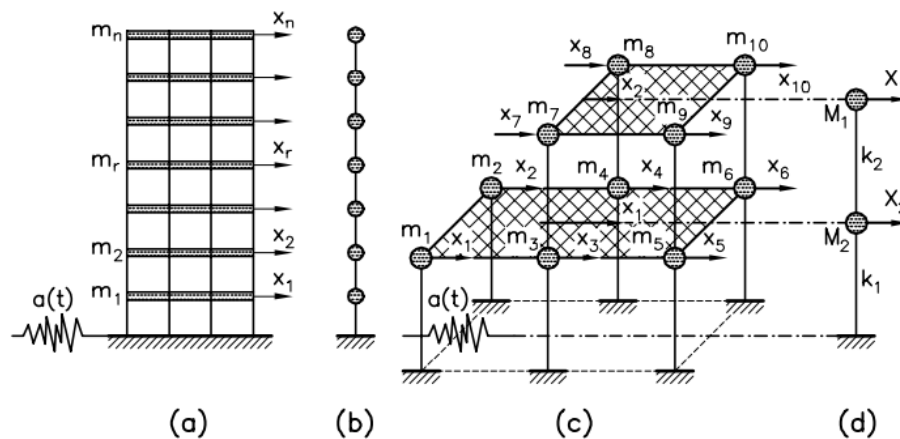
La determinación del comportamiento sísmico de una estructura (Barbat y Oller, 1998) requiere la definición dinámica del terreno como de las propiedades de la estructura en movimiento; en términos de tipo y método de análisis estructural. En cualquier análisis estructural el modelo utilizado es plenamente una idealización del modelo “real” (físico) con una precisión de resultados que depende del grado de información que se tiene.

Al preparar un Análisis Estructural tipo Dinámico Modal Espectral Lineal bajo un método de Análisis Estructural de Masas Consistentes para esta investigación es necesario definir nociones teóricas básicas del modelo numérico compuesto que se modelará y evaluará bajo medios computacionales. Bajo este Método la masa total del edificio se concentra en puntos predefinidos por el mismo, concretamente para cada entrespiso de cada nivel, sin embargo, asignados de acuerdo con las coordenadas del centro de masa de cada uno; llevándose a simulación de esta manera el efecto de las fuerzas de inercia reales en el análisis dinámico. Estas masas nodales de entrespiso vendrán conectadas por barras elásticas sin masa.

### Figura II- 31

Modelos dinámicos analíticos de estructuras:

a) Plantas rigidizadas, b) modelo simplificado, c) grados de libertad nodales y d) masas agrupadas por planta.



Fuente: Barbat y Oller (1998)

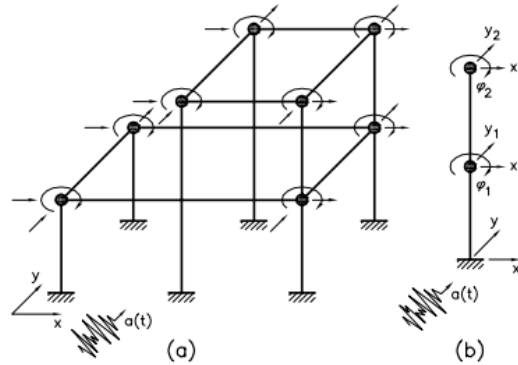
Si en la simplificación del modelo tridimensional (Barbat y Oller, 1998) se realizan las siguientes simplificaciones adicionales:

- 1) Sometimiento del modelo a dos componentes horizontales de aceleración sísmica por separado, para luego combinar los resultados.
- 2) Modelos de cálculo rigidizados en X-Y para las losas de cada nivel, conformándose los diafragmas rígidos.

Entonces se habrá modelado una estructura para edificio multi-piso de cortante (Barbat y Oller, 1998), donde todas las simplificaciones mencionadas suponen errores de cálculo razonablemente pequeños, pero desde un punto de vista de ingeniería, un cálculo seguro para la construcción.

**Figura II- 32**

*Modelo dinámico analítico tridimensional considerando torsión*

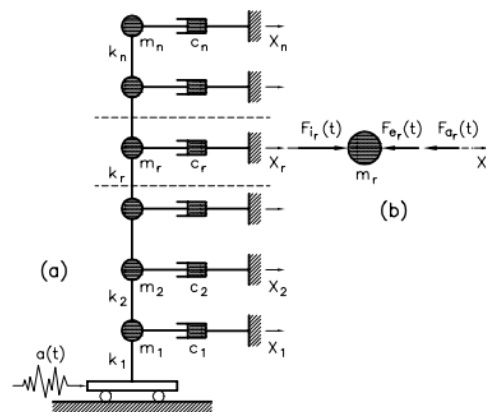


**Fuente:** Barbat y Oller (1998)

Después de haber reconocido un modelo estructural preliminar (Barbat y Oller, 1998) para el análisis dinámico se puede encontrar práctico el principio de D'Alembert, basándose en la noción de una fuerza inercial ficticia igual al producto de su masa por su aceleración, y en dirección opuesta a este vector. Estableciéndose así que, con las fuerzas de inercia incluidas, un sistema hiperestático está en equilibrio en cada instante de tiempo. Bajo la acción de una fuerza externa, las condiciones del sistema se describen mediante el desplazamiento, velocidad y la aceleración y sus componentes respectivos de rigidez, amortiguamiento e inercia que emula a un sistema de masa-resorte-amortiguador. Así es posible dibujar el diagrama de cuerpo libre de un sistema de masas en equilibrio dinámico.

**Figura II- 33**

*Modelo dinámico analítico a cortante en equilibrio*



**Fuente:** Barbat y Oller (1998)



El modelo está sometido a una aceleración horizontal  $a(t)$  de origen sísmico. Aislando todas las masas  $m_r$  e introduciendo todas las fuerzas correspondientes, incluidas las de inercia. El equilibrio dinámico (Barbat y Oller, 1998) viene expresado por:

$$F_{i_r}(t) + F_{e_r}(t) + F_{a_r}(t) = 0 \quad (II-13)$$

$F_{i_r}(t)$ : Fuerza de inercia para grado de libertad  $r$   
 $F_{e_r}(t)$ : Fuerza elástica para grado de libertad  $r$   
 $F_{a_r}(t)$ : Fuerza de amortiguamiento para grado de libertad  $r$

Que también puede ser expresada de forma matricial (Barbat y Oller, 1998), donde el vector de fuerzas elásticas es  $F_e(t) = [F_{e1}(t) \dots F_{er}(t) \dots F_{en}(t)]$ , el vector de fuerzas de inercia es  $F_i(t) = [F_{i1}(t) \dots F_{ir}(t) \dots F_{in}(t)]$  y el vector de fuerzas de amortiguamiento es  $F_a(t) = [F_{a1}(t) \dots F_{ar}(t) \dots F_{an}(t)]$ , expresándose en funciones como:

$$F_e(t) = Kx(t) \quad (II-14)$$

$$F_a(t) = C\dot{x}(t)$$

$$F_i(t) = M[\ddot{x}(t) + \{1\}a(t)]$$

En estas ecuaciones,  $x = [x_1(t) \dots x_r(t) \dots x_n(t)]$  es el vector de desplazamientos respecto de la base del modelo,  $\{1\}$  es la matriz unitaria y  $a(t)$  es la aceleración del terreno provocada por el sismo (Barbat y Oller, 1998).

$K$  es la matriz de rigidez (Barbat y Oller, 1998) cuya componente genérica es  $k_r = 12EI_r/h_{r,r-1}^3$ , denotando la rigidez cortante del grupo de columnas  $r$ , siendo  $I_r$  la suma de los momentos de inercia de las columnas situadas entre las plantas  $r$  y  $r-1$ , luego  $h_{r,r-1}$  la altura.

$M$  es la matriz de masa que es una matriz diagonal para los modelos analíticos de edificios de cortante (Barbat y Oller, 1998), es decir, no se recurre a la interacción entre masas asociadas a dos grados de libertad distintos del sistema.

Típicamente, se utiliza una matriz de amortiguamiento tipo viscoso basado en el modelo de Kelvin-Voigt (Barbat y Oller, 1998), ya que describe de una manera sencilla el amortiguamiento global de toda la estructura para una solución cerrada en la ecuación diferencial del movimiento, que viene dada por una matriz proporcional a la matriz de masa, o a la matriz de rigidez o a una combinación lineal de ambas, es decir:

$$C = \alpha_1 M + \alpha_2 K \quad (II-15)$$



Entonces sustituyendo M, K y C (Barbat y Oller, 1998) en la ecuación de movimiento:

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = -M\{1\}a(t) \quad (II-16)$$

La respuesta dinámica de un modelo con varios grados de libertad (VGDL) se analiza considerando vibraciones no amortiguadas (Barbat y Oller, 1998), gobernadas por:

$$M\ddot{x} + Kx = 0 \quad (II-17)$$

Cumpléndose para las soluciones de tipo:

$$x(t) = Ae^{i\omega t} \quad (II-18)$$

Donde el vector A (Barbat y Oller, 1998) contiene las amplitudes de desplazamiento y  $\omega$  es la frecuencia. Luego sustituyendo se tiene:

$$(K - \omega^2 M)A = 0 \quad (II-19)$$

Con este sistema de ecuaciones planteado (Barbat y Oller, 1998) se constituye el problema de los autovalores o eigenvalores; el cual tiene soluciones A distintas de la trivial, razón que asegura que el modelo cortante vibrará solo cuando:

$$|K - \omega^2 M| = 0 \quad (II-20)$$

### 2.4.1. Periodos de vibración

Desarrollando el determinante en su forma polinómica (Barbat y Oller, 1998) se tiene la ecuación característica:

$$\omega^{2n} + \alpha_1\omega^{2n-2} + \alpha_2\omega^{2n-4} + \dots + \alpha_{n-1}\omega^2 + \alpha_n = 0 \quad (II-21)$$

Los n eigenvalores  $\omega_i$  son las frecuencias propias del modelo analítico, que pueden ordenarse en la diagonal principal de la matriz espectral  $\Omega$ . La frecuencia más baja se declara como la frecuencia fundamental (Barbat y Oller, 1998) y los periodos como:

$$T_i = \frac{2\pi}{\omega_i}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (II-22)$$

Donde  $T_1$  se declara como el periodo fundamental.

A continuación, se definen los eigen-vectores normalizados  $\phi_i = A_i/A_{i_1}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), cuyo primer elemento es la unidad (Barbat y Oller, 1998). Siendo otro modo de normalizar los eigen-vectores con la relación:

$$A_i^T M A_i = M_i^* \quad (II-23)$$



Y aplicando la normalización (Barbat y Oller, 1998) respecto de la masa:

$$\phi_i^* = A_i * (M_i^*)^{-\frac{1}{2}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (II-24)$$

Que asegura el cumplimiento de:

$$(\phi_i^*)^T M \phi_i^* = 1 \quad (II-25)$$

Disponiendo de los eigen-vectores  $\phi_i$  en la matriz modal  $\Phi^*$ , que representa los modos de vibración del sistema analizado durante cada una de sus eigen-frecuencias (Barbat y Oller, 1998). Asimismo, deben cumplirse las condiciones de ortogonalidad:

$$\begin{aligned} \phi_i^T \phi_j &= 0 & i \neq j \\ \phi_i^T M \phi_j &= 0 & i \neq j \\ \phi_i^T K \phi_j &= 0 & i \neq j \end{aligned} \quad (II-26)$$

Y la normalidad respecto a la matriz de masa (Barbat y Oller, 1998):

$$\phi_i^T M \phi_j = M_i^* \neq 0$$

Permitiendo la orto-normalidad respecto de la masa (Barbat y Oller, 1998):

$$(\Phi^*)^T M \Phi = I$$

Y después:

$$\begin{aligned} \Phi^T M \Phi &= M^* \\ \Phi^T K \Phi &= K^* \\ \Phi^T C \Phi &= C^* \end{aligned} \quad (II-27)$$

La condición de ortogonalidad establecería entonces que:

$$C^* = \alpha_1 M^* + \alpha_2 K^* \quad (II-28)$$

Se debe introducir ahora el concepto para la separación de variables (Barbat y Oller, 1998), y así evaluar la resolución de ecuaciones en el campo temporal y espacial por separado, expresando el campo de desplazamientos como:

$$x = \sum_{j=1}^n \phi_j x_j(t) \quad (II-29)$$

Donde  $x_j(t)$  describe la amplitud en el tiempo del modo  $\phi_j$ . Sustituyendo se obtiene:

$$M \sum_{j=1}^n \phi_j \ddot{x}_j(t) + C \sum_{j=1}^n \phi_j \dot{x}_j(t) + K \sum_{j=1}^n \phi_j x_j(t) = -M\{1\}a(t) \quad (II-30)$$





De vuelta nuevamente a las condiciones de ortogonalidad (Barbat y Oller, 1998):

$$\begin{aligned}\phi_i^T M \sum_{j=1}^n \phi_j &= \phi_i^T M \phi_i = M_i^* \\ \phi_i^T K \sum_{j=1}^n \phi_j &= \phi_i^T K \phi_i = K_i^* \\ \phi_i^T C \sum_{j=1}^n \phi_j &= \phi_i^T C \phi_i = C_i^*\end{aligned}\quad (II-31)$$

Al multiplicar los componentes de ambos lados (Barbat y Oller, 1998) de la ecuación por la traspuesta de un eigen-vector  $\phi_i$ :

$$\phi_i^T M \sum_{j=1}^n \phi_j \ddot{x}_j(t) + \phi_i^T C \sum_{j=1}^n \phi_j \dot{x}_j(t) + \phi_i^T K \sum_{j=1}^n \phi_j x_j(t) = -\phi_i^T M \{1\} a(t) \quad (II-32)$$

Se tendría:

$$M_i^* \ddot{x}_i(t) + C_i^* \dot{x}_i(t) + K_i^* x_i(t) = -\phi_i^T M \{1\} a(t)$$

Este sistema hallado puede transformarse a otro sistema de ecuaciones diferenciales en aceleraciones (Barbat y Oller, 1998), dividiendo todos los términos por  $M_i^*$ :

$$\ddot{x}_i(t) + 2v_i \omega_i \dot{x}_i(t) + \omega_i^2 x_i(t) = -\frac{\phi_i^T M \{1\}}{\phi_i^T M \phi_i} a(t) \quad (II-33)$$

Introduciéndose en esta parte del análisis el coeficiente de participación modal (Barbat y Oller, 1998) correspondiente al modo de vibración  $i$ ,  $Q_i$ . Y se expresa como:

$$Q_i = \frac{\sum_{r=1}^n M_r \phi_{ri}}{\sum_{r=1}^n M_r \phi_{ri}^2} \quad (II-34)$$

El campo de desplazamientos (Barbat y Oller, 1998) y sus ecuaciones diferenciales suelen escribirse de la siguiente manera:

$$x(t) = \sum_{i=1}^q \phi_i x_i(t) \quad \dot{x}(t) = \sum_{i=1}^q \phi_i \dot{x}_i(t) \quad \ddot{x}(t) = \sum_{i=1}^q \phi_i \ddot{x}_i(t) \quad (II-35)$$

El siguiente procedimiento en la agenda del análisis estructural dinámico modal espectral lineal (Barbat y Oller, 1998) es justamente considerar la acción sísmica mediante el espectro de respuesta en pseudo-aceleraciones  $S_a$ , correspondiente al movimiento del terreno con una aceleración  $a(t)$ . La ecuación sería:

$$\ddot{x}_i(t) + 2v_i \omega_i \dot{x}_i(t) + \omega_i^2 x_i(t) = -Q_i a(t) \quad (II-36)$$



Que es similar a la ecuación que evalúa el movimiento de un modelo analítico de un solo grado de libertad dinámica (Barbat y Oller, 1998). Ergo, se supondrá que la respuesta generalizada máxima en aceleraciones  $\ddot{x}_i(t)_{max}$ , que se obtiene solucionando la ecuación anterior, siendo igual a  $S_a$ . Teniéndose a deducción que la aceleración generalizada máxima correspondiente al modo de vibración  $i$  es:

$$\ddot{x}_i(t)_{max} = Q_i(S_a)_i = (\overline{S_a})_i \quad (II-37)$$

Sea  $Q_i(S_a)_i = (\overline{S_a})_i$  para denotar la aceleración espectral del modo  $i$ . El desplazamiento generalizado máximo en el modo  $i$  se expresa teniendo en cuenta que:

$$(S_a)_i = \omega_i^2(S_d)_i$$

Siendo  $(S_d)_i$  el espectro de respuesta en desplazamientos. Y consecuentemente:

$$x_i(t)_{max} = Q_i \frac{(S_a)_i}{\omega_i^2} \quad (II-38)$$

#### 2.4.2. Cortantes modales de entrepiso

Siendo  $(\ddot{x}_{ri})_{max}$  la máxima aceleración de respuesta en el entrepiso  $r$  y modo  $i$ ; así como  $M_r$ , la masa agrupada en el nivel  $r$  (Barbat y Oller, 1998):

$$(\ddot{x}_{ri})_{max} = \phi_{ri} \ddot{x}_i(t)_{max} \quad (II-39)$$

Y aplicando la segunda ley de Newton (Barbat y Oller, 1998), la fuerza sísmica equivalente correspondiente a un modo de vibración  $i$ , y entrepiso  $r$ , es denotada como:

$$F_{ri}^s = (\ddot{x}_{ri})_{max} M_r = \phi_{ri} Q_i M_r (S_a)_i = A_{ri} \frac{(S_a)_i}{g} G_r \quad (II-40)$$

Donde:

$$A_{ri}(\text{coeficientes de forma}) = \phi_{ri} Q_i$$

$g$ : aceleración de la gravedad

$G_r$ : Peso de la masa  $M_r$

El cortante en el entrepiso  $r$  y modo de vibración  $i$  de la estructura se calcula mediante (Barbat y Oller, 1998):

$$V_{ri}^s = \sum_{j=r}^n F_{ji}^s = \sum_{j=r}^n \phi_{ri} Q_i \frac{(S_a)_i}{g} G_r \quad (II-41)$$



### 2.4.3. Desplazamientos modales de entrepiso

Los desplazamientos modales máximos (Barbat y Oller, 1998) de acuerdo a todos los grados de libertad dinámicos del modelo analítico se denotan como:

$$(x_i)_{max} = \varphi_i x_i(t)_{max} = \varphi_i Q_i \frac{(S_a)_i}{\omega_i^2} = A_i \frac{(S_a)_i}{\omega_i^2} \quad (II-42)$$

### 2.4.4. Torsiones modales de entrepiso

Partiendo de la definición de excentricidad de entrepiso  $e_r$  (Barbat y Oller, 1998). El momento de torsión modal de entrepiso  $r$  para modo de vibración  $i$  es el producto de las fuerzas cortante de entrepiso por los brazos de excentricidades, y se denota como:

$$M_{ri}^t = e_{ri} V_{ri}^s \quad (II-43)$$

### 2.4.5. Momentos de volteo modales de plano

El momento de volteo modal (Barbat y Oller, 1998) en el entrepiso  $r$  para el modo de vibración  $i$ , se calcula como la suma de los momentos de las fuerzas equivalentes sísmicas  $F_{ri}^s$  aplicadas a cada piso:

$$M_{ri}^v = \sum_{j=r+1}^n F_{ji}^s (h_j - h_r) \quad (II-44)$$

### 2.4.6. Excentricidades

Se comprende por excentricidad en estructuras de edificaciones multi-pisos, que es la diferencia entre las coordenadas del centro de rigidez (CR) de un piso frente a las coordenadas del centro de masa (CM) del mismo (Serway y Jewett, 2008).

Donde CM es el punto de concentración de la masa de un sistema físico (Serway y Jewett, 2008) donde la fuerza de gravedad es aplicada. El centro de masa se puede ubicar en tres dimensiones mediante su vector de posición  $\vec{r}_{CM}$ , donde sus componentes son  $x_{CM}$ ,  $y_{CM}$  y  $z_{CM}$ , que se expresan como:

$$x_{CM} = \frac{1}{M} \sum_i m_i x_i \quad y_{CM} = \frac{1}{M} \sum_i m_i y_i \quad z_{CM} = \frac{1}{M} \sum_i m_i z_i \quad (II-45)$$

Aunque ubicar el centro de masa para un objeto extendido es un poco más problemático que ubicar el centro de masa de un sistema de partículas, las ideas básicas



discutidas aún se aplican. Ya que la separación de las partículas es muy pequeña, se considera que el objeto tiene una distribución de masa continua (Basu y Jain, 2006):

$$x_{CM} = \frac{1}{M} \int x dm \quad y_{CM} = \frac{1}{M} \int y dm \quad z_{CM} = \frac{1}{M} \int z dm \quad (II-46)$$

Luego el CR es el punto de concentración de la rigidez total de un sistema (Basu y Jain, 2006) donde al aplicársele una fuerza horizontal no causara una rotación con respecto a su eje vertical (z), sin embargo, si una traslación horizontal.

Según Genner Villarreal (2020), el centro de rigidez para una planta de una estructura de edificación puede calcularse analíticamente en función a las rigideces a fuerza lateral de sus elementos verticales empotrados  $K_i$

Considerando las coordenadas del centro como:

$$x_{CR} = \frac{\sum K_{iy} * x_i}{\sum K_{iy}} \quad y_{CR} = \frac{\sum K_{ix} * y_i}{\sum K_{ix}} \quad (II-47)$$

## 2.5. *Propiedades mecánicas del concreto armado*

### 2.5.1. *Módulo de Young*

El módulo de elasticidad o módulo de Young (Harmsen, 2017) es aquella relación que se obtiene de la variación esfuerzo-deformación del concreto en el rango lineal elástico obtenido de la curva ploteada, caracterizada por su resistencia nominal a la compresión  $f'_c$  de probeta ensayada en laboratorio de acuerdo a la norma ASTM C469.

La norma técnica E.060 (SENCICO, 2020) según la revisión del informe del comité ACI 318, emplea el módulo secante y propone la expresión 8-3 para el Módulo de Young del Concreto ( $E_c$ ) de peso específico alrededor de 2300 kgf/m<sup>3</sup>:

$$E_c = 15000 * \sqrt{f'_c} \quad (II-48)$$

### 2.5.2. *Relación de Poisson*

Es aquel parámetro que establece cuánto un material, es este caso el concreto, se deforma lateralmente al serle aplicado una carga axial. Este valor es estadísticamente



establecido según los ensayos de laboratorio a probetas del concreto nominal siguiendo la norma ASTM C469. La norma técnica E.060 (SENCICO, 2020) según la revisión del informe del comité ACI 318 propone el valor de:

$$\nu_c = 0.15 \quad (II-49)$$

### 2.5.3. *Módulo de Corte*

En la mecánica (Beer et al., 2011), un material al resistir fuerzas cortantes sobreviene rotaciones tangenciales generales en sus caras, y con ello esfuerzos respecto a las áreas de ellas mismas. Por lo tanto, homológamente al módulo de elasticidad, planteando las curvas de esfuerzo cortante-rotación y siguiendo la Ley de Hooke para un rango lineal elástico de deformaciones se es propuesto un módulo de corte o de rigidez (G).

Para un concreto ensayado en laboratorio, obteniéndose los parámetros de módulo de Young y relación de Poisson, la relación de estos dos con el módulo cortante es establecido por la teoría de la mecánica lineal de materiales, que es validada por la norma técnica E.060 (SENCICO, 2020) como del comité 318 del ACI en la siguiente expresión:

$$G_c = \frac{E_c}{2(1 + \nu_c)} \quad (II-50)$$

### 2.5.4. *Relación de amortiguamiento*

La relación de amortiguamiento estructural (Lu et al., 2019) que es el valor porcentual de disipación de energía cuando la estructura es sometida a fuerzas dinámicas, juega un importante rol en el diseño y evaluación de edificaciones civiles. Sin embargo, en las previsiones de diseño actuales este valor solo es sugerido tanto como un valor fijo cualquiera sea el material y su sistema estructural.

Por ejemplo, en la norma técnica E.030 (SENCICO, 2020) se asume un amortiguamiento tipo viscoso cuyo valor máximo de fracción de amortiguamiento crítico ( $\lambda$ ) se considera:

$$\lambda = 0.05 \quad (II-51)$$



## ***2.6. Análisis estructural dinámico considerando la Matriz de Masa Consistente***

En un análisis estructural dinámico modal (Katsikadelis, 2020), las fuerzas equivalentes inerciales formuladas en los elementos finitos (en cualquier dimensión) de la discretización de la estructura son distribuidas según la matriz de masa bajo dos suposiciones posibles: un Modelo Agrupado y un Modelo Consistente.

Un Modelo de Masa Agrupada (Katsikadelis, 2020) es el más comúnmente usado por su economía computacional en el análisis estructural. Y se caracteriza por formular una matriz diagonal de masas que se encarga de asignar equitativamente una porción de masa del elemento a cada uno de sus nodos bajo consideraciones estáticas.

Mientras que un Modelo de Masa Consistente supone una distribución continua y más refinada de la masa en el elemento. Así, esta formulación (Chopra, 2012) contiene dos ventajas. Primero lleva a una mayor precisión en los resultados y una veloz convergencia de estos para un mayor número de elementos finitos, considerando plenamente las inercias de los grados de libertad rotacionales de los nodos. Y segundo, con este modelo de matriz de masas, la energía potencial y cinética son evaluadas de manera consistente, y por lo tanto se conoce cómo los valores computados de las frecuencias naturales se relacionan con sus valores exactos.

## ***2.7. Confección del Espectro Sísmico de Diseño Elástico***

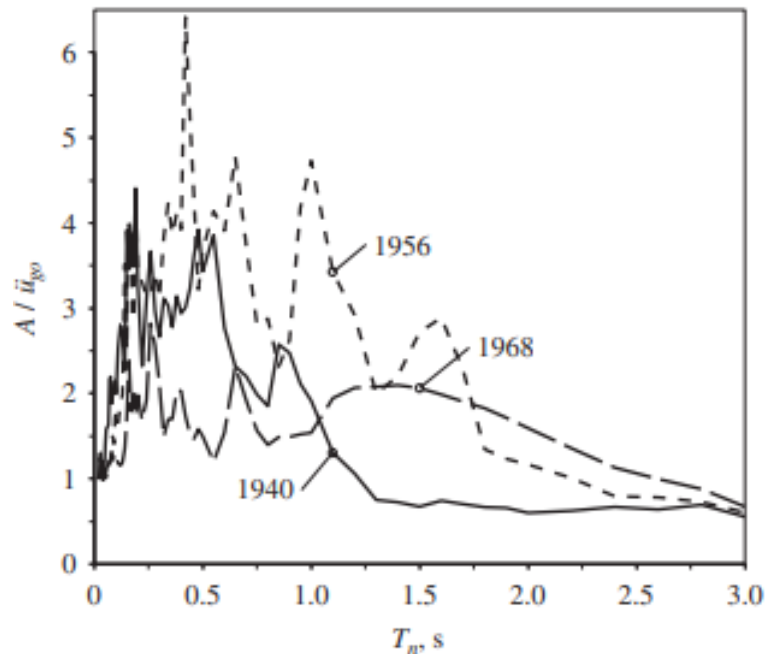
Un espectro de diseño (Chopra, 2012) es confeccionado tanto como para calcular una estructura nueva o como para comprobar el cálculo de una estructura ya existente a fin de evaluar la resistencia de los sistemas estructurales ante un sismo. Resistencia que se puede dar en el rango elástico o en el plástico, sin embargo; múltiples códigos resguardan el diseño sismorresistente de estructuras solamente en el rango elástico tomando diversas consideraciones conservadoras, para evitar que elementos estructurales de un material frágil como el concreto se vean afectados en todo el tiempo de vida útil de la edificación.

Un espectro de respuesta del movimiento del terreno (Chopra, 2012) de un sismo significativo del pasado podría usarse, no obstante, sería inapropiado. Ya que, para todos los sismos del historial, la configuración de picos y valles es irregular, variando cada uno en diversos puntos a lo largo del periodo del espectro.



**Figura II- 34**

*Espectros de respuesta de movimientos de terreno en la subestación del distrito de riego del Valle Imperial en El Centro, California (18/05/1940-09/02/1956-08/04/1968) para  $\zeta=2\%$*



**Fuente:** Chopra (2012)

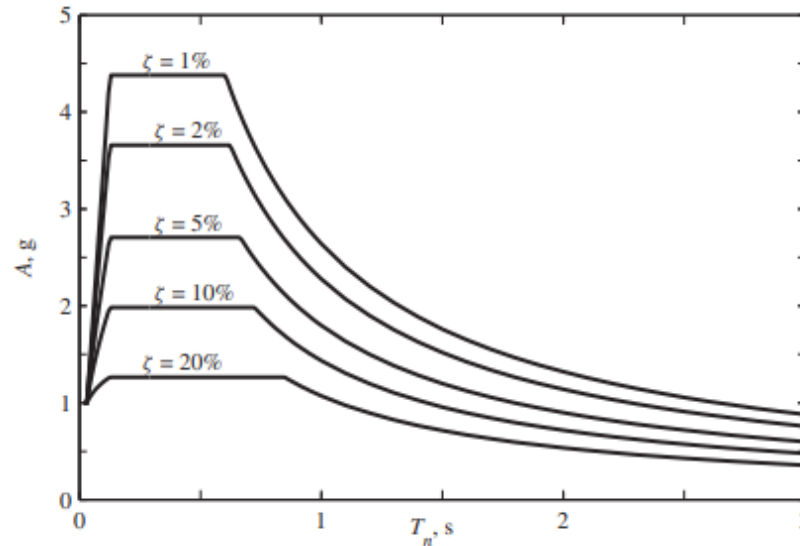
Un espectro de diseño, sin embargo, debe ser el representativo de todo el historial de sismos del sitio local y al de sus cercanías. Por lo cual (Chopra, 2012) se recurre a la estadística donde para escalamiento, cada registro de sismo se normaliza en cuestiones de probabilidad, haciendo que todos los sismos del espectro de respuesta tengan el mismo pico de aceleración máxima y obteniendo de estos un espectro de respuesta media con su respectiva variación estándar, ploteando un espectro simplificando las variaciones erráticas hacia líneas rectas (en una escala logarítmica) uniendo los picos considerados y los valores para los periodos recomendados por convención. Luego este espectro de respuesta es multiplicado por factores de amplificación según fracciones arbitrarias de amortiguamiento y las probabilidades de no excedencia consideradas en el análisis probabilístico que generalmente son para el 50% y 84.1%, finalmente es ploteado a una escala lineal donde las líneas diagonales dibujadas en el espectro de respuesta de pseudo-aceleración vs. periodos para la confección del espectro de diseño, pasan a verse como variaciones logarítmicas representadas por curvas.





**Figura II- 35**

*Espectros de diseño (pseudo-aceleración vs. periodo) normalizados y amplificados en el percentil 84.1 para fracciones de amortiguamiento  $\zeta=1, 2, 5, 10$  y  $20\%$  del espectro de respuesta, así como parametrizados en una pseudo-aceleración inicial a  $1g$ , pseudo-velocidad inicial a  $48$  pulg/s y desplazamiento inicial de  $36$  pulg.*



**Fuente:** Chopra (2012)

El parámetro del movimiento del terreno de diseño (pseudo-aceleración, velocidad o desplazamiento) que entra en la definición del espectro de diseño (Chopra, 2012) debe tomar en consideración la intensidad física del sismo, distancias al epicentro, distancias a fallas geológicas, mecanismos de falla, tipos de ondas sísmicas, riesgos sísmicos y las condiciones locales del sitio y sus tipos de suelo. Para lo cual, los códigos de diseño sismorresistente de cada país, además de definir un espectro de diseño a partir de un estudio de espectros de respuesta históricos; realizan investigaciones para establecer factores de amplificación o reducción sísmica a tomarse en cuenta para la confección de espectros de diseño escalados.

Esto mediante diferentes estudios estructurales específicos (Chopra, 2012), análisis estadísticos de riesgos sísmicos, identificación de fallas sísmicas, programas de evaluación de vulnerabilidad, consideraciones preventivas económicas-sociales, etc.

En Perú, el código normativo que se encarga de brindar estos factores de escalamiento para la confección de un espectro de diseño es la Norma Técnica E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones. Primeramente, considera el factor de Peligrosidad Sísmica (SENCICO, 2020) por distribución espacial en territorio nacional o por Zonificación (Z) teniendo en cuenta el historial sísmico, distancias epicentrales y geotectónica actual.

**Figura II- 36**

*Zonificación sísmica del Perú para valores de factor Z*



**Fuente:** SENCICO (2020)

Luego, la norma considera el factor de Perfil de Suelo (SENCICO, 2020) de fundación de la estructura a diseñarse ( $S$ ); que está en función a la clasificación del suelo mediante rangos provistos para los resultados de los estudios geotécnicos, y en función al factor de zonificación anterior. Los parámetros para la clasificación de suelos que esta norma maneja son tomados en los 30 metros superiores del perfil de estudio y son: 1) Velocidad promedio de propagación de ondas sísmicas de corte ( $\bar{V}_s$ ), 2) promedio ponderado de los ( $\bar{N}_{60}$ ) obtenidos en los estratos de suelo mediante un ensayo SPT, y 3) promedio ponderado de la resistencia al corte de los estratos en condición no drenada ( $\bar{s}_u$ ). Para luego obtener cinco perfiles de suelos en los que se puede clasificar:



**Tabla II- 1**

*Clasificación de perfiles de suelo según norma E.030 (2020)*

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	$\bar{V}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{s}_u$
$S_0$	$> 1500 \text{ m/s}$	-	-
$S_1$	500 m/s a 1500 m/s	$> 50$	$> 100 \text{ kPa}$
$S_2$	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
$S_3$	$< 180 \text{ m/s}$	$< 15$	25 kPa a 50 kPa
$S_4$	Clasificación basada en el Estudio de Mecánica de Suelos		

**Fuente:** SENCICO (2020)

Seguidamente para obtener el factor S se procede a la siguiente tabla:

**Tabla II- 2**

*Factor sísmico de suelo según norma E.030 (2020)*

FACTOR DE SUELO (S)				
SUELO ZONA	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$Z_4$	0.80	1.00	1.05	1.10
$Z_3$	0.80	1.00	1.15	1.20
$Z_2$	0.80	1.00	1.20	1.40
$Z_1$	0.80	1.00	1.60	2.00

**Fuente:** SENCICO (2020)

En tercer lugar, se pasa a determinar el factor de Amplificación Sísmica (C) (SENCICO, 2020) que está en función a los periodos característicos  $T_P$  y  $T_L$  del tipo de perfil del suelo determinado anteriormente.

**Tabla II- 3**

*Periodos  $T_P$  y  $T_L$  por perfil de suelo según norma E.030 (2020)*

PERIODOS $T_P$ y $T_L$				
Perfil Periodo	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$T_P$ (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
$T_L$ (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

**Fuente:** SENCICO (2020)

Este factor es variable a lo largo del espectro de diseño según el periodo de la estructura ( $T$ ) y se calcula mediante las expresiones:



$$\text{Si } T < T_p, \quad C = 2.50 \quad (II-52)$$

$$\text{Si } T_p < T < T_L, \quad C = 2.50 * \frac{T_p}{T}$$

$$\text{Si } T > T_L, \quad C = 2.50 * \frac{T_p * T_L}{T^2}$$

En cuarto lugar, se extrae el factor de Uso o Importancia de la Estructura (U), según sean (SENCICO, 2020): Edificaciones Esenciales (U=1.5), Edificaciones Importantes (U=1.3), Edificaciones Comunes (U=1.0) o Edificaciones Temporales.

Finalmente, el quinto factor es un factor de Reducción Sísmica (R) (SENCICO, 2020), que está en función del sistema estructural (R<sub>0</sub>) de la edificación (clasificado por esta norma) y de las irregularidades en planta (I<sub>p</sub>) y altura (I<sub>a</sub>). Siendo para sistemas de Concreto Armado Aporticados, R<sub>0</sub>=8; para Duales, R<sub>0</sub>=7; y para de Muros Estructurales, R<sub>0</sub>=6.

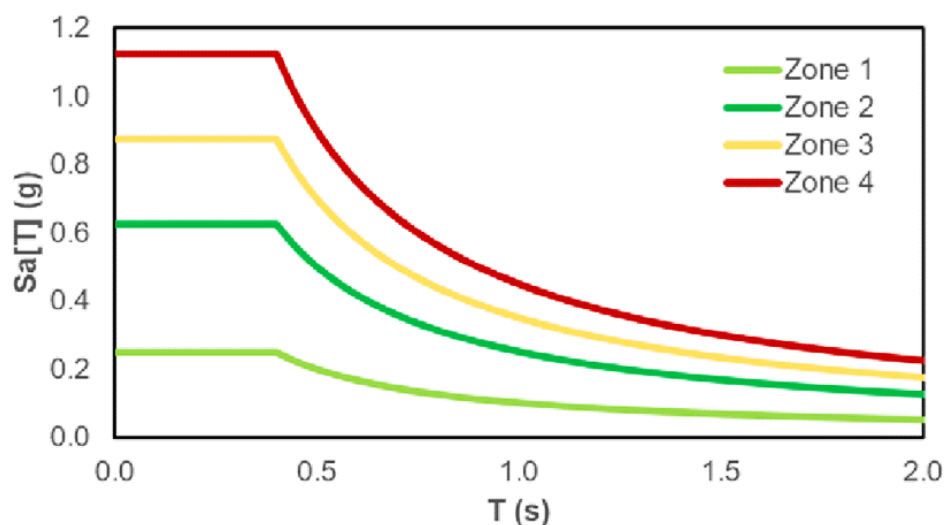
$$R = R_0 * I_p * I_a \quad (II-53)$$

Teniendo todos los factores determinados entonces el espectro de diseño escalado para una cierta estructura para una cierta edificación, con cierto sistema estructural e irregularidades determinadas, en una cierta zona del Perú (SENCICO, 2020), sobre un cierto perfil de suelo queda formulado mediante la expresión:

$$S_a(T) = \frac{Z * U * S * C(T)}{R} * g \quad (II-54)$$

**Figura II- 37**

*Ejemplos de Espectros de Diseño para las zonas sísmicas del Perú en perfiles de suelo muy rígidos*



**Fuente:** Miranda et al. (2019)

## 2.8. Parámetros adicionales de análisis

### 2.8.1. Derivas y desplazamientos pseudo-plásticos

El cálculo de estas variables, bajo esta denominación, se refiere equivalentemente a las “derivadas y desplazamientos inelásticos” que la norma E.030 (2020) toma en consideración en los artículos N° 31, 32 y 33, los cuales exigen multiplicar los resultados del Análisis Modal-Espectral Lineal por determinadas constantes; para así aproximar, grosso modo, estos resultados a los que se tendría si se consideraría modelos de comportamiento inelástico o plástico del material y también deformaciones significativas más reales de la estructura ante fallas por sismo. No obstante, se utiliza el término de “pseudo-plástico” al pensarse más apropiado, ya que técnicamente no se utiliza algún modelo analítico legítimo de plasticidad en el cálculo estructural.

Por lo tanto queda formulado de la misma manera:

$$U_{inelástico} = U_{ps-plástico} = \alpha * R * U_{elástico} \quad (II-55)$$

$$dU_{inelástico} = dU_{ps-plástico} = \alpha * R * dU_{elástico}$$

Donde:

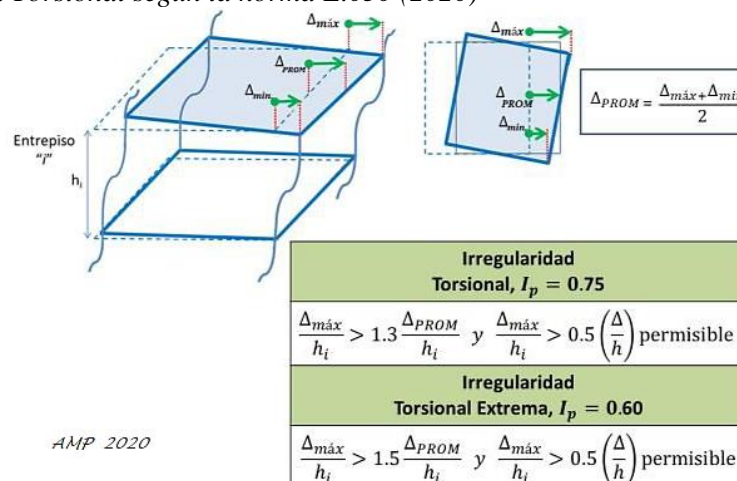
$U$ : desplazamiento absoluto ;  $dU$ : deriva ;  $R$ : factor de reducción sísmica  
 $\alpha$ : constante (=0.75 para estructuras regulares o =0.85 para irregulares)

### 2.8.2. Índices de Irregularidad Torsional

Esta variable y su cálculo se rigen a los procedimientos normados para el cálculo de la relación que discrimina la Irregularidad Torsional de las estructuras en turno, que están establecidos en la tabla n° 9 del artículo N° 20 de la norma E.030 (2020).

**Figura II- 38**

*Irregularidad Torsional según la norma E.030 (2020)*



Fuente: Muñoz (2020)



### 3. Hipótesis de investigación

#### 3.1. *Hipótesis general*

Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aportricados como a Duales pueden demostrar ventajas significativas en materia de comportamiento sísmico considerando que los valores obtenidos en la mayoría de variables de estudio tuvieron connotaciones positivas, frente a los valores de las variables de los comportamientos sísmicos de los sistemas estructurales Aportricado y Dual convencionales; para la estructuración de un proyecto de edificación multifamiliar en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco para 2021.

#### 3.2. *Sub-Hipótesis*

##### Sub-hipótesis N°1:

Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aportricados como a Duales conllevan negativamente a que las cortantes modales basales analizadas en estos sean mayores hasta en un 60% que las cortantes modales basales de los sistemas estructurales Aportricado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.

##### Sub-hipótesis N°2:

Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aportricados como a Duales conllevan ventajosamente a que las máximas derivas pseudo-plásticas analizadas en estos sean menores hasta en un 50% que las máximas derivas pseudo-plásticas de los sistemas estructurales Aportricado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.

##### Sub-hipótesis N°3:

Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aportricados como a Duales conllevan convenientemente a que las torsiones modales basales analizadas en estos sean menores hasta en un 40% que las torsiones



modales basales de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.

#### Sub-hipótesis N°4:

Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan positivamente a que las excentricidades de entrepiso analizadas en estos sean menores hasta en un 35% que las excentricidades de entrepiso de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.

#### Sub-hipótesis N°5:

Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan desventajosamente a que los momentos modales de volteo basales analizados en estos sean mayores hasta en un 60% que los momentos modales de volteo basales de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.

#### Sub-hipótesis N°6:

Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan a que los periodos de vibración analizados en estos sean menores hasta en un 35% que los periodos de vibración de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.

#### Sub-hipótesis N°7:

Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan óptimamente a que los máximos desplazamientos pseudo-plásticos analizados en estos sean menores hasta en un 50% que los máximos desplazamientos pseudo-plásticos de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.





#### Sub-hipótesis N°8:

Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan óptimamente a que los índices de irregularidad torsional analizados en estos sean menores hasta en un 30% que los índices de irregularidad torsional de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.

#### Sub-hipótesis N°9:

Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas a sistemas estructurales Aporticados conllevan a que los pesos estructurales analizados en estos sean mayores hasta en un 35% que los pesos estructurales del sistema estructural Aporticado convencional. Luego, los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas a sistemas estructurales Duales conllevan a que los pesos estructurales analizados en estos sean menores hasta en un 25% que los pesos estructurales del sistema estructural Dual convencional; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.

## 4. Definición de variables e indicadores

### 4.1. *Variables independientes*

#### X1: Sistema Estructural

Conjunto de elementos conformantes de una estructura, configurados determinadamente para resistir las acciones estáticas y dinámicas a las que está sometida una edificación civil por su medio; además de calificarse según las disposiciones de una norma de diseño estructural.

#### 4.1.1. *Dimensiones e indicadores de variables independientes*

- Dimensión: Sistema estructural Aporticado (SEA)
  - Indicador 1: Espectro sísmico de diseño ( $S_{DS}$ ), que comprende los subindicadores:



- Subindicador 1: Coeficiente de Zona Sísmica (Z)
  - Subindicador 2: Coeficiente de Categoría de Edificación por Uso (U)
  - Subindicador 3: Coeficiente de Amplificación Sísmica (C)
  - Subindicador 4: Coeficiente de Condiciones Locales de Suelo (S)
  - Subindicador 5: Coeficiente de Básico de Reducción Sísmica ( $R_0$ )
  - Subindicador 6: Coeficientes por Irregularidades Sísmicas ( $I_a, I_p$ )
- Dimensión: Sistema estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Circularmente ( $SACH_iN_x-R8$ )
    - Indicador 1: Espectro sísmico de diseño ( $S_{DS}$ ), que comprende los subindicadores:
      - Subindicador 1: Coeficiente de Zona Sísmica (Z)
      - Subindicador 2: Coeficiente de Categoría de Edificación por Uso (U)
      - Subindicador 3: Coeficiente de Amplificación Sísmica (C)
      - Subindicador 4: Coeficiente de Condiciones Locales de Suelo (S)
      - Subindicador 5: Coeficiente de Básico de Reducción Sísmica ( $R_0$ )
      - Subindicador 6: Coeficientes por Irregularidades Sísmicas ( $I_a, I_p$ )
    - Indicador 2: Peralte máximo de acartelamiento ( $H_1/H_2/H_3/ H_4/H_5$ )
      - Peralte  $H_1 = 0.25$  veces la altura de entrepiso
      - Peralte  $H_2 = 0.30$  veces la altura de entrepiso
      - Peralte  $H_3 = 0.35$  veces la altura de entrepiso
      - Peralte  $H_4 = 0.40$  veces la altura de entrepiso
      - Peralte  $H_5 = 0.50$  veces la altura de entrepiso
    - Indicador 3: Configuración de vigas acarteladas en el sistema ( $N_1/N_2/N_3$ )
      - Configuración  $N_1$ : Todas las vigas del sistema estructural son acarteladas
      - Configuración  $N_2$ : Solo las vigas en la dirección X del sistema estructural son acarteladas
      - Configuración  $N_3$ : Intercaladamente algunas vigas en la dirección X del sistema estructural son acarteladas



- Dimensión: Sistema estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Elípticamente (SAEH<sub>i</sub>N<sub>x</sub>-R8)
  - Indicador 1: Espectro sísmico de diseño ( $S_{DS}$ ), que comprende los subindicadores:
    - Subindicador 1: Coeficiente de Zona Sísmica (Z)
    - Subindicador 2: Coeficiente de Categoría de Edificación por Uso (U)
    - Subindicador 3: Coeficiente de Amplificación Sísmica (C)
    - Subindicador 4: Coeficiente de Condiciones Locales de Suelo (S)
    - Subindicador 5: Coeficiente de Básico de Reducción Sísmica ( $R_0$ )
    - Subindicador 6: Coeficientes por Irregularidades Sísmicas ( $I_a, I_p$ )
  - Indicador 2: Peralte máximo de acartelamiento ( $H_1/H_2/H_3/H_4/H_5$ )
    - Peralte  $H_1 = 0.25$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_2 = 0.30$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_3 = 0.35$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_4 = 0.40$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_5 = 0.50$  veces la altura de entrepiso
  - Indicador 3: Configuración de vigas acarteladas en el sistema ( $N_1/N_2/N_3$ )
    - Configuración  $N_1$ : Todas las vigas del sistema estructural son acarteladas
    - Configuración  $N_2$ : Solo las vigas en la dirección X del sistema estructural son acarteladas
    - Configuración  $N_3$ : Intercaladamente algunas vigas en la dirección X del sistema estructural son acarteladas



- Dimensión: Sistema estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Parabólicamente (SAPH<sub>i</sub>N<sub>x</sub>-R8)
  - Indicador 1: Espectro sísmico de diseño ( $S_{DS}$ ), que comprende los subindicadores:
    - Subindicador 1: Coeficiente de Zona Sísmica (Z)
    - Subindicador 2: Coeficiente de Categoría de Edificación por Uso (U)
    - Subindicador 3: Coeficiente de Amplificación Sísmica (C)
    - Subindicador 4: Coeficiente de Condiciones Locales de Suelo (S)
    - Subindicador 5: Coeficiente de Básico de Reducción Sísmica ( $R_0$ )
    - Subindicador 6: Coeficientes por Irregularidades Sísmicas ( $I_a, I_p$ )
  - Indicador 2: Peralte máximo de acartelamiento ( $H_1/H_2/H_3/H_4/H_5$ )
    - Peralte  $H_1 = 0.25$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_2 = 0.30$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_3 = 0.35$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_4 = 0.40$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_5 = 0.50$  veces la altura de entrepiso
  - Indicador 3: Configuración de vigas acarteladas en el sistema ( $N_1/N_2/N_3$ )
    - Configuración  $N_1$ : Todas las vigas del sistema estructural son acarteladas
    - Configuración  $N_2$ : Solo las vigas en la dirección X del sistema estructural son acarteladas
    - Configuración  $N_3$ : Intercaladamente algunas vigas en la dirección X del sistema estructural son acarteladas



- Dimensión: Sistema estructural Dual con Vigas Acarteladas Circularmente (SACH<sub>i</sub>N<sub>x</sub>-R7)
  - Indicador 1: Espectro sísmico de diseño ( $S_{DS}$ ), que comprende los subindicadores:
    - Subindicador 1: Coeficiente de Zona Sísmica (Z)
    - Subindicador 2: Coeficiente de Categoría de Edificación por Uso (U)
    - Subindicador 3: Coeficiente de Amplificación Sísmica (C)
    - Subindicador 4: Coeficiente de Condiciones Locales de Suelo (S)
    - Subindicador 5: Coeficiente de Básico de Reducción Sísmica ( $R_0$ )
    - Subindicador 6: Coeficientes por Irregularidades Sísmicas ( $I_a, I_p$ )
  - Indicador 2: Peralte máximo de acartelamiento ( $H_1/H_2/H_3/H_4/H_5$ )
    - Peralte  $H_1 = 0.25$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_2 = 0.30$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_3 = 0.35$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_4 = 0.40$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_5 = 0.50$  veces la altura de entrepiso
  - Indicador 3: Configuración de vigas acarteladas en el sistema ( $N_1/N_2/N_3$ )
    - Configuración  $N_1$ : Todas las vigas del sistema estructural son acarteladas
    - Configuración  $N_2$ : Solo las vigas en la dirección X del sistema estructural son acarteladas
    - Configuración  $N_3$ : Intercaladamente algunas vigas en la dirección X del sistema estructural son acarteladas



- Dimensión: Sistema estructural Dual con Vigas Acarteladas Elípticamente (SAEH<sub>i</sub>N<sub>x</sub>-R7)
  - Indicador 1: Espectro sísmico de diseño ( $S_{DS}$ ), que comprende los subindicadores:
    - Subindicador 1: Coeficiente de Zona Sísmica (Z)
    - Subindicador 2: Coeficiente de Categoría de Edificación por Uso (U)
    - Subindicador 3: Coeficiente de Amplificación Sísmica (C)
    - Subindicador 4: Coeficiente de Condiciones Locales de Suelo (S)
    - Subindicador 5: Coeficiente de Básico de Reducción Sísmica ( $R_0$ )
    - Subindicador 6: Coeficientes por Irregularidades Sísmicas ( $I_a, I_p$ )
  - Indicador 2: Peralte máximo de acartelamiento ( $H_1/H_2/H_3/H_4/H_5$ )
    - Peralte  $H_1 = 0.25$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_2 = 0.30$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_3 = 0.35$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_4 = 0.40$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_5 = 0.50$  veces la altura de entrepiso
  - Indicador 3: Configuración de vigas acarteladas en el sistema ( $N_1/N_2/N_3$ )
    - Configuración  $N_1$ : Todas las vigas del sistema estructural son acarteladas
    - Configuración  $N_2$ : Solo las vigas en la dirección X del sistema estructural son acarteladas
    - Configuración  $N_3$ : Intercaladamente algunas vigas en la dirección X del sistema estructural son acarteladas



- Dimensión: Sistema estructural Dual con Vigas Acarteladas Parabólicamente ( $SAPH_iN_x-R7$ )
  - Indicador 1: Espectro sísmico de diseño ( $S_{DS}$ ), que comprende los subindicadores:
    - Subindicador 1: Coeficiente de Zona Sísmica (Z)
    - Subindicador 2: Coeficiente de Categoría de Edificación por Uso (U)
    - Subindicador 3: Coeficiente de Amplificación Sísmica (C)
    - Subindicador 4: Coeficiente de Condiciones Locales de Suelo (S)
    - Subindicador 5: Coeficiente de Básico de Reducción Sísmica ( $R_0$ )
    - Subindicador 6: Coeficientes por Irregularidades Sísmicas ( $I_a, I_p$ )
  - Indicador 2: Peralte máximo de acartelamiento ( $H_1/H_2/H_3/H_4/H_5$ )
    - Peralte  $H_1 = 0.25$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_2 = 0.30$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_3 = 0.35$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_4 = 0.40$  veces la altura de entrepiso
    - Peralte  $H_5 = 0.50$  veces la altura de entrepiso
  - Indicador 3: Configuración de vigas acarteladas en el sistema ( $N_1/N_2/N_3$ )
    - Configuración  $N_1$ : Todas las vigas del sistema estructural son acarteladas
    - Configuración  $N_2$ : Solo las vigas en la dirección X del sistema estructural son acarteladas
    - Configuración  $N_3$ : Intercaladamente algunas vigas en la dirección X del sistema estructural son acarteladas





- Dimensión: Sistema estructural Dual (SED)
  - Indicador 1: Espectro sísmico de diseño ( $S_{DS}$ ), que comprende los subindicadores:
    - Subindicador 1: Coeficiente de Zona Sísmica (Z)
    - Subindicador 2: Coeficiente de Categoría de Edificación por Uso (U)
    - Subindicador 3: Coeficiente de Amplificación Sísmica (C)
    - Subindicador 4: Coeficiente de Condiciones Locales de Suelo (S)
    - Subindicador 5: Coeficiente de Básico de Reducción Sísmica ( $R_0$ )
    - Subindicador 6: Coeficientes por Irregularidades Sísmicas ( $I_a, I_p$ )

## 4.2. Variables dependientes

### Y: Comportamiento Sísmico

Es la respuesta compuesta de una estructura ante una fuerza provocada por una eventualidad sísmica del medio de su emplazamiento, que le permita mantenerse en equilibrio dinámico.

#### 4.2.1. Sub-variables, dimensiones e indicadores de variables dependientes

- Sub-variable: Cortantes modales basales ( $Y_1$ )

Fuerzas laterales diferenciales sísmicas entre cada diafragma de entrepiso, calculadas modalmente, y en este caso para la base de la estructura.

- Dimensión 1: Cortantes modales basales en dirección X por Sismo-X
  - Indicador: Fuerzas (tnf)
- Dimensión 2: Cortantes modales basales en dirección Y por Sismo-Y
  - Indicador: Fuerzas (tnf)



- Sub-variable: Máximas derivas pseudo-plásticas ( $Y_2$ )

Máximos valores de las diferencias de desplazamientos absolutos elásticos de los centros de masa entre entrepisos consecutivos, divididas sobre las respectivas alturas de entrepiso; luego, multiplicadas por un factor según la norma E.030.

- Dimensión 1: Máximas derivas pseudo-plásticas en dirección X por Sismo-X
  - Indicador: Relaciones de desplazamiento (cm/cm)
- Dimensión 2: Máximas derivas pseudo-plásticas en dirección Y por Sismo-Y
  - Indicador: Relaciones de desplazamiento (cm/cm)

- Sub-variable: Torsiones modales basales ( $Y_3$ )

Momentos en la base generados por las fuerzas cortantes modales sísmicas distribuidas por entrepiso y las correspondientes excentricidades, en este caso de la base.

- Dimensión 1: Torsiones modales basales por Sismo-X
  - Indicador: Torsiones (tnf\*m)
- Dimensión 2: Torsiones modales basales por Sismo-Y
  - Indicador: Torsiones (tnf\*m)

- Sub-variable: Excentricidades de entrepiso ( $Y_4$ )

Distancias que existen entre los centros de rigidez (CR) y centros de masa (CM) en los entrepisos de un sistema estructural.

- Dimensión 1: Excentricidades de entrepiso en eje X
  - Indicador: Excentricidades (m)
- Dimensión 2: Excentricidades de entrepiso en eje Y
  - Indicador: Excentricidades (m)



- Sub-variable: Momentos modales de volteo basales ( $Y_5$ )

Momentos laterales en la base generados por las fuerzas cortantes modales sísmicas y las correspondientes alturas de centro de masa de cada planta estructural.

- Dimensión 1: Momentos modales de volteo basales alrededor de Y por Sismo-X
  - Indicador: Momentos ( $\text{tnf} \cdot \text{m}$ )
- Dimensión 2: Momentos modales de volteo basales alrededor de X por Sismo-Y
  - Indicador: Momentos ( $\text{tnf} \cdot \text{m}$ )

- Sub-variable: Periodos de vibración ( $Y_6$ )

Tiempos que una estructura demora en desarrollar un ciclo completo de movimiento según modos determinados cuando experimenta vibraciones.

- Dimensión 1: Periodos de vibración para modos principales en X
  - Indicador: Periodos (s)
- Dimensión 2: Periodos de vibración para modos principales en Y
  - Indicador: Periodos (s)

- Sub-variable: Máximos desplazamientos pseudo-plásticos ( $Y_7$ )

Máximos desplazamientos absolutos elásticos de la estructura calculados en un análisis modal espectral, y luego multiplicados por un factor según la norma E.030.

- Dimensión 1: Máximos desplazamientos pseudo-plásticos en dirección X por Sismo-X
  - Indicador: Desplazamientos (cm)
- Dimensión 2: Máximos desplazamientos pseudo-plásticos en dirección Y por Sismo-Y
  - Indicador: Desplazamientos (cm)



- Sub-variable: Índices de irregularidad torsional ( $Y_8$ )

Máximos desplazamientos relativos, divididos sobre los promedios de los desplazamientos relativos de los nodos extremos del entrepiso en la dirección del cálculo.

- Dimensión 1: Índices de irregularidad torsional por Sismo-X
  - Indicador: Relaciones de desplazamiento (cm/cm)
- Dimensión 2: Índices de irregularidad torsional por Sismo-Y
  - Indicador: Relaciones de desplazamiento (cm/cm)

- Sub-variable: Peso estructural ( $Y_9$ )

Volumen de material mecánico de todos los elementos del sistema estructural, multiplicados por los correspondientes pesos específicos.

- Dimensión: Pesos estructurales de sistemas estructurales
  - Indicador: Pesos (tnf)



## 5. Cuadro de operacionalización de variables

"Análisis estructural comparativo de comportamientos sísmicos entre sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, y los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales de propuesta; caso edificación "Residencial Kala", Cusco 2021"						
Tipo de variable	Nombre de variable	Concepto	Dimensiones de variable	Indicadores de variable	Equipo de ingeniería	Instrumentos para recolección de datos
Independiente (X)	Sistema Estructural	Conjunto de elementos conformantes de una estructura, configurados determinadamente para resistir las acciones estáticas y dinámicas a las que esta sometida una edificación civil por sí misma y su medio; además de calificarse según las disposiciones de una norma de diseño estructural.	Sistema Aporticado	Espectro sísmico de diseño "R8"	Modelo numérico simplificado de la Norma E.030	Tablas de data
			Sistemas Aporticados con Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas	1) Espectro sísmico de diseño "R8" 2) Tipo de sección cónica 3) Peralte máximo de acartelamiento (Hi) 4) Configuración de vigas acarteladas en el sistema (Nx)		
			Sistemas Duales con Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas	1) Espectro sísmico de diseño "R7" 2) Tipo de sección cónica 3) Peralte máximo de acartelamiento (Hi) 4) Configuración de vigas acarteladas en el sistema (Nx)	Método de los Elementos Finitos asistido por software de cálculo estructural	
			Sistema Dual	Espectro sísmico de diseño "R7"		
Dependiente (Y):			Comportamiento Sísmico			
Sub-Dependiente (Y1)	Cortantes modales basales	Fuerzas laterales diferenciales sísmicas entre cada diafragma de entrepiso, calculadas modalmente, y en este caso, para la base de la estructura.	Cortantes basales modales en dirección X por Sismo-X	Fuerzas (Tnf)	Método de los Elementos Finitos asistido por software de cálculo estructural	Tablas de data
			Cortantes basales modales en dirección Y por Sismo-Y	Fuerzas (Tnf)		
Sub-Dependiente (Y2)	Máximas derivas pseudo-plásticas	Máximos valores de las diferencias de desplazamientos absolutos elásticos de los centros de masa entre entrepisos consecutivos, divididas sobre las respectivas alturas de entrepiso; luego, multiplicadas por un factor según una norma E.030.	Máximas derivas pseudo-plásticas en dirección X por Sismo-X	Relaciones de desplazamiento (cm/cm)	Método de los Elementos Finitos asistido por software de cálculo estructural	Tablas de data
			Máximas derivas pseudo-plásticas en dirección Y por Sismo-Y	Relaciones de desplazamiento (cm/cm)		
Sub-Dependiente (Y3)	Torsiones modales basales	Momentos en la base generados por las fuerzas cortantes modales sísmicas distribuidas por entrepiso y las correspondientes excentricidades.	Torsiones modales basales por Sismo-X	Torsiones (Tnf*m)	Método de los Elementos Finitos asistido por software de cálculo estructural	Tablas de data
			Torsiones modales basales por Sismo-Y	Torsiones (Tnf*m)		
Sub-Dependiente (Y4)	Excentricidades de entrepiso	Distancias que existen entre los centros de rigidez CR y centros de masa CM en los entrepisos de una estructura.	Excentricidades de entrepiso en eje X	Excentricidades (m)	Método de los Elementos Finitos asistido por software de cálculo estructural	Tablas de data
			Excentricidades de entrepiso en eje Y	Excentricidades (m)		
Sub-Dependiente (Y5)	Momentos modales de volteo basales	Momentos laterales en la base generados por las fuerzas cortantes modales sísmicas y las correspondientes alturas de centro de masa de cada planta estructural.	Momentos modales de volteo basales alrededor de Y por Sismo-X	Momentos (Tnf*m)	Método de los Elementos Finitos asistido por software de cálculo estructural	Tablas de data
			Momentos modales de volteo basales alrededor de X por Sismo-Y	Momentos (Tnf*m)		
Sub-Dependiente (Y6)	Periodos de vibración	Tiempos que una estructura demora en desarrollar un ciclo completo de movimiento según modos determinados cuando experimenta vibraciones.	Periodos de vibración para modos principales en X	Periodos (s)	Método de los Elementos Finitos asistido por software de cálculo estructural	Tablas de data
			Periodos de vibración para modos principales en Y	Periodos (s)		
Sub-Dependiente (Y7)	Máximos desplazamientos pseudo-plásticos	Máximos desplazamientos absolutos elásticos de la estructura calculados en un análisis modal espectral, y luego multiplicados por un factor según norma.	Máximos desplazamientos pseudo-plásticos en dirección X por Sismo-X	Desplazamientos (cm)	Método de los Elementos Finitos asistido por software de cálculo estructural	Tablas de data
			Máximos desplazamientos pseudo-plásticos en dirección Y por Sismo-Y	Desplazamientos (cm)		
Sub-Dependiente (Y8)	Índices de irregularidad torsional	Máximos desplazamientos relativos, divididos sobre los promedios de los desplazamientos relativos de los nodos extremos del entrepiso en la dirección del cálculo.	Índices de irregularidad torsional por Sismo-X	Relaciones de desplazamiento (cm/cm)	Método de los Elementos Finitos asistido por software de cálculo estructural	Tablas de data
			Índices de irregularidad torsional por Sismo-Y	Relaciones de desplazamiento (cm/cm)		
Sub-Dependiente (Y9)	Pesos estructurales	Volumen de material mecánico de todos los elementos del sistema estructural, multiplicados por los correspondientes pesos específicos.	Pesos de sistemas estructurales	Pesos (tnf)	Método de los Elementos Finitos asistido por software de cálculo estructural	Tablas de data



## **Capítulo III: Metodología de la tesis**



## 1. Metodología de la Investigación

### 1.1. *Enfoque de Investigación*

El propósito de esta investigación es realizar un análisis comparativo, a partir del cálculo estructural entre ocho sistemas estructurales para una edificación de concreto armado, pretendiendo resolver la problemática, alcanzar los objetivos y comprobar/refutar las hipótesis planteadas a partir del ingreso, manejo e interpretación de datos netamente numéricos (Hernández y otros, 2014): Por lo tanto, esta investigación es de **Enfoque Cuantitativa-Aplicada**.

### 1.2. *Nivel de Investigación*

En la presente investigación se recolectan los valores numéricos correspondientes a las variables dependientes de estudio en función a los ocho casos generales de sistemas estructurales a ser analizados para un proyecto hipotético de edificación, luego se compararán recíprocamente en las mismas dimensiones planteadas (Hernández y otros, 2014). Para este fin, esta investigación se determina en **Nivel Descriptivo**.

### 1.3. *Método de Investigación*

Partiendo del planteamiento de una hipótesis general desarrollando los posibles desenvolvimientos de comparación para los ocho casos generales de sistemas estructurales de estudio en hipótesis específicas, se desarrolla la presente investigación en orden de extraer y analizar de una base de resultados del análisis estructural, los parámetros de comportamiento sísmico de los sistemas propuestos para el proyecto de edificación, utilizando los conocimientos adquiridos en Ingeniería Civil (Hernández y otros, 2014): Por lo tanto, esta investigación emplea el **Método Hipotético-Deductivo**.





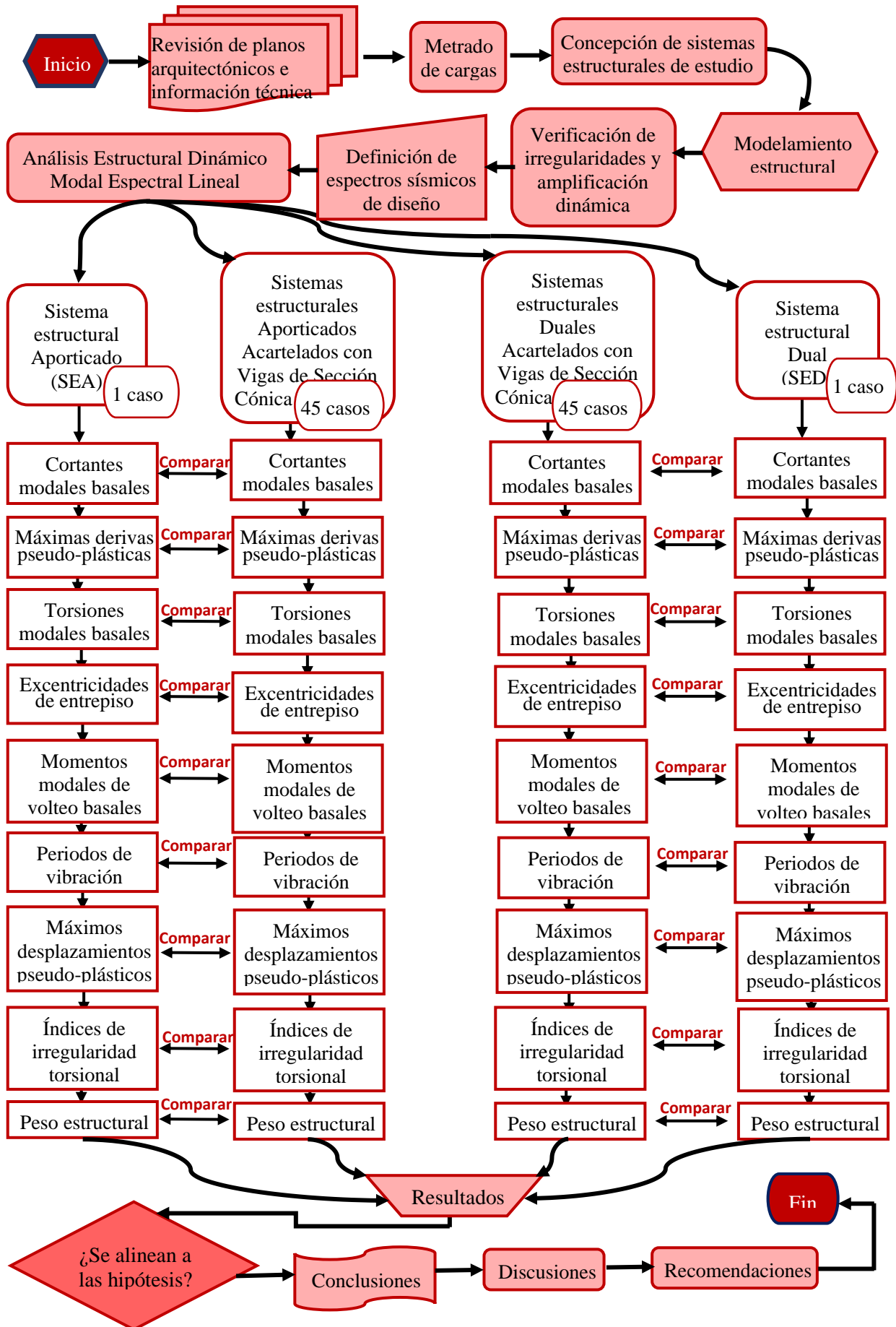
## 2. Diseño de la Investigación

### 2.1. *Diseño metodológico*

Esta investigación basará su trabajo metodológico en interpretar comparativamente los resultados de los análisis estructurales independientes sobre el comportamiento sísmico en función a noventa casos de prueba y dos casos de control, simulados por computador, para la estructuración de un proyecto de edificación de ocho pisos en la ciudad del Cusco en 2021. Por lo tanto, debido a que muestra un proceso de elección de circunstancias-simulación de eventos-recolección de resultados, así como la selección de muestra no tiene como objetivo la representatividad (Hernández y otros, 2014), se declara que la presente tesis bajo estos argumentos es una **Investigación Cuasi-Experimental**.



### 2.2. Diseño de ingeniería





### 3. Población y muestra

#### 3.1. Población

##### 3.1.1. Descripción de la población

La población de estudio en esta investigación viene enmarcada por la estructura que conforma la edificación multifamiliar denominada “Residencial Kala”, actualmente de construida en concreto armado, ubicada en la ciudad de Cusco, Perú.

##### 3.1.2. Cuantificación de la población

Se ha de considerar, por lo tanto, que la cantidad de elementos que son incluidos dentro del conjunto población es de una unidad (1), que pertenece a la edificación multinivel sobre la cual esta investigación se basa. Ya que, como objeto de prueba, se asume única para su contexto según sus características arquitectónicas propias y conocidas.

#### 3.2. Muestra

##### 3.2.1. Descripción de la muestra

La muestra para esta investigación vendría a ser el único elemento de la población, es decir, la estructura de la edificación multifamiliar “Residencial Kala” construida en concreto armado. Admitiendo en su configuración y denotación analítica tanto un Sistema Estructural Aporticado como un Sistema Estructural Dual.

##### 3.2.2. Cuantificación de la muestra

La muestra está definida como un conjunto unitario; sin embargo, se inscribieron 92 sub-muestras, siendo para cada Caso de Análisis (según los criterios de inclusión) de esta investigación. Y se evaluó un (1) solo espécimen por cada Caso, idealizado como un modelo numérico asistido por computador, donde la variabilidad experimental entre especímenes de un mismo Caso de Sistema Estructural es demasiado mínima o nula.



### 3.2.3. *Métodos de muestreo*

Ya que para este estudio se analiza un espécimen para cada Caso de Sistema Estructural dentro del proyecto de una edificación multifamiliar de ocho niveles de concreto armado en la ciudad de Cusco en 2021. Se connota que la elección de la muestra es no probabilística (Hernández y otros, 2014), es decir, dependió de los criterios de selección por conveniencia objetiva del investigador para el estudio.

### 3.2.4. *Criterios de evaluación de la muestra*

Para evaluar la muestra en cada Caso y bajo los Parámetros de Análisis de esta investigación se utilizaron las normas técnicas peruanas:

- E.020: Cargas (2020)
- E.030: Diseño sismorresistente (2020)
- E.060: Concreto armado (2020)

## 3.3. *Criterios de inclusión*

Las muestras de este estudio para su inclusión en esta investigación están dispuestas a los siguientes criterios:

- El espécimen como muestra para el Caso de estudio de Sistema Estructural Aporticado (SEA) es una estructura que en su configuración solo está compuesta de columnas, vigas y losas; todos los elementos de una geometría prismática.
- Los especímenes como muestras para los Casos de estudio del Sistema Estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Circularmente (SACH<sub>i</sub>N<sub>x</sub>-R8) comparten la estructuración de las columnas y losas del SEA; luego los peraltes máximos ubicados en los apoyos de las vigas acarteladas varían en 0.25 (H<sub>1</sub>), 0.30 (H<sub>2</sub>), 0.35 (H<sub>3</sub>), 0.40 (H<sub>4</sub>) y 0.45 (H<sub>5</sub>) veces la altura del entrepiso; seguidamente la configuración de estas vigas sobre los pórticos del sistema estructural varía en, estar presentes en todos los pórticos (N<sub>a</sub>), solo estar presentes en los pórticos de la



dirección X ( $N_b$ ) y estar presentes de manera intercalada en los pórticos de la dirección X ( $N_c$ ). Por lo que en total suman una muestra de 15 especímenes.

- Los especímenes como muestras para los Casos de estudio del Sistema Estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Elípticamente ( $SAEH_iN_x-R8$ ) comparten la estructuración de las columnas y losas del SEA; luego los peraltes máximos ubicados en los apoyos de las vigas acarteladas varían en 0.25 ( $H_1$ ), 0.30 ( $H_2$ ), 0.35 ( $H_3$ ), 0.40 ( $H_4$ ) y 0.45 ( $H_5$ ) veces la altura del entrepiso; seguidamente la configuración de estas vigas sobre los pórticos del sistema estructural varía en, estar presentes en todos los pórticos ( $N_a$ ), solo estar presentes en los pórticos de la dirección X ( $N_b$ ) y estar presentes de manera intercalada en los pórticos de la dirección X ( $N_c$ ). Por lo que en total suman una muestra de 15 especímenes.
- Los especímenes como muestras para los Casos de estudio del Sistema Estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Parabólicamente ( $SAPH_iN_x-R8$ ) comparten la estructuración de las columnas y losas del SEA; luego los peraltes máximos ubicados en los apoyos de las vigas acarteladas varían en 0.25 ( $H_1$ ), 0.30 ( $H_2$ ), 0.35 ( $H_3$ ), 0.40 ( $H_4$ ) y 0.45 ( $H_5$ ) veces la altura del entrepiso; seguidamente la configuración de estas vigas sobre los pórticos del sistema estructural varía en, estar presentes en todos los pórticos ( $N_a$ ), solo estar presentes en los pórticos de la dirección X ( $N_b$ ) y estar presentes de manera intercalada en los pórticos de la dirección X ( $N_c$ ). Por lo que en total suman una muestra de 15 especímenes.
- El espécimen como muestra para el Caso de estudio del Sistema Estructural Dual (SED) es una estructura que en su configuración tiene los elementos horizontales del SEA; mientras que algunas columnas son reemplazadas por muros de corte.
- Los especímenes como muestras para los Casos de estudio del Sistema Estructural Dual con Vigas Acarteladas Circularmente ( $SACH_iN_x-R7$ ) comparten solo la estructuración de las columnas, losas y núcleos de ascensor del SED; sin embargo, no albergan los demás muros estructurales repartidos del sistema. Luego los peraltes máximos ubicados en los apoyos de las vigas acarteladas varían en 0.25 ( $H_1$ ), 0.30 ( $H_2$ ), 0.35 ( $H_3$ ), 0.40 ( $H_4$ ) y 0.45 ( $H_5$ ) veces la altura del entrepiso; seguidamente la configuración de estas vigas sobre los pórticos del sistema estructural varía en, estar presentes en todos los pórticos ( $N_a$ ), solo estar presentes en los pórticos de la dirección X ( $N_b$ ) y estar presentes de manera intercalada en los



pórticos de la dirección X ( $N_c$ ). Por lo que en total suman una muestra de 15 especímenes.

- Los especímenes como muestras para los Casos de estudio del Sistema Estructural Dual con Vigas Acarteladas Elípticamente ( $SAEH_iN_x-R7$ ) comparten solo la estructuración de las columnas, losas y núcleos de ascensor del SED; sin embargo, no albergan los demás muros estructurales repartidos del sistema. Luego los peraltes máximos ubicados en los apoyos de las vigas acarteladas varían en 0.25 ( $H_1$ ), 0.30 ( $H_2$ ), 0.35 ( $H_3$ ), 0.40 ( $H_4$ ) y 0.45 ( $H_5$ ) veces la altura del entrepiso; seguidamente la configuración de estas vigas sobre los pórticos del sistema estructural varía en, estar presentes en todos los pórticos ( $N_a$ ), solo estar presentes en los pórticos de la dirección X ( $N_b$ ) y estar presentes de manera intercalada en los pórticos de la dirección X ( $N_c$ ). Por lo que en total suman una muestra de 15 especímenes.
- Los especímenes como muestras para los Casos de estudio del Sistema Estructural Dual con Vigas Acarteladas Parabólicamente ( $SAPH_iN_x-R7$ ) comparten solo la estructuración de las columnas, losas y núcleos de ascensor del SED; sin embargo, no albergan los demás muros estructurales repartidos del sistema. Luego los peraltes máximos ubicados en los apoyos de las vigas acarteladas varían en 0.25 ( $H_1$ ), 0.30 ( $H_2$ ), 0.35 ( $H_3$ ), 0.40 ( $H_4$ ) y 0.45 ( $H_5$ ) veces la altura del entrepiso; seguidamente la configuración de estas vigas sobre los pórticos del sistema estructural varía en, estar presentes en todos los pórticos ( $N_a$ ), solo estar presentes en los pórticos de la dirección X ( $N_b$ ) y estar presentes de manera intercalada en los pórticos de la dirección X ( $N_c$ ). Por lo que en total suman una muestra de 15 especímenes.



## 4. Instrumentos

### 4.1. Instrumentos de recolección de datos

#### 4.1.1. Medrado de cargas

##### 4.1.1.1. Medrado de cargas sobre vigas

Medrado de cargas en vigas																										
Vigas (localización)	Altura de entrepiso	Pre-peralte	Distancia entre ejes	Semancho columna 1	Semancho columna 2	Luz libre (m)	Altura libre (m)	Longitud de muros	Altura de muros	Carga de muros	Peso de muros	Longitud de alfeizers	Altura de vanos	Altura de alfeizers	Carga de alfeizers	Peso de alfeizers	Longitud de puertas (m)	Carga de puertas	Peso de puertas	Longitud de ventanas (m)	Carga de ventanas	Peso de ventanas	Peso muerto	Carga muerta		
2° → 7°: 1-1/A																										
2° → 7°: 1-2/A																										
2° → 7°: 2-3/A																										
2° → 7°: 3-5/A																										
2° → 7°: 5-7/A																										
2° → 7°: 7-8/A																										
2° → 7°: 5-7/B																										
2° → 7°: 7-8/B																										
2° → 7°: 1-1/C																										
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

##### 4.1.1.2. Medrado de cargas sobre losas

Medrado de cargas en losas																						
Losa	Distancia entre ejes 1 (m)	Distancia entre ejes 2 (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga de aligerado (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga de piso terminado (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga de cielo raso yeso (kgf/m <sup>2</sup> )	Longitud de tabiquería (m)	Carga de tabiquería (kgf/m)	Carga de tabiquería (kgf/m <sup>2</sup> )	Longitud de alfeizer (m)	Carga de alfeizer (kgf/m)	Carga de alfeizer (kgf/m <sup>2</sup> )	Longitud de puerta (m)	Carga de puerta (kgf/m)	Carga de puerta (kgf/m <sup>2</sup> )	Longitud de ventana (m)	Carga de ventana (kgf/m)	Carga de ventana (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga de cobertura (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga muerta (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga viva (kgf/m <sup>2</sup> )	
2° → 7°: 1-1/A-C																						
2° → 7°: 1-1/C-E																						
2° → 7°: 1-2/A-C																						
2° → 7°: 1-2/C-E																						
2° → 7°: 2-3/A-C																						
2° → 7°: 2-3/C-E																						
2° → 7°: 3-5/C-C'																						
2° → 7°: 4-5/C-E																						
2° → 7°: 5-7/A-B																						
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...





#### 4.1.2. Pre-dimensionamiento de elementos estructurales

##### 4.1.2.1. Pre-dimensionamiento de vigas

Pre-dimensionamiento de vigas															
Vigas (localización)	Luz libre (m)	Carga muerta (kgf/m)	Ancho tributario (m)	Carga lineal a superficial (kgf/m <sup>2</sup> )	Consideración de carga	Carga losa 1 (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga losa 2 (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga de losas (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga superficial total (kgf/m <sup>2</sup> )	Peralte calculado (m)	Peralte mínimo (m)	Ln/10 (Principales)	Ln/12 (Secundarias / conexión / voladizas)	Peralte final (m)	Ancho de viga (m)
2° → 7°: 1' - 1 / A															
2° → 7°: 1 - 2 / A															
2° → 7°: 2 - 3 / A															
2° → 7°: 3 - 5 / A															
2° → 7°: 5 - 7 / A															
2° → 7°: 7 - 8 / A															
2° → 7°: 5 - 7 / B															
2° → 7°: 7 - 8 / B															
2° → 7°: 1' - 1 / C															
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

##### 4.1.2.2. Pre-dimensionamiento de columnas

Pre-dimensionamiento de columnas									
Columna	Posición	Factor de amplificación de carga	Factor de reducción de resistencia	f'c (kgf/cm <sup>2</sup> )	Carga de servicio (tnf)	Área calculada (cm <sup>2</sup> )	Longitud x asumida (cm)	Longitud y asumida (cm)	Área asumida (cm <sup>2</sup> )
A-1									
A-2									
A-3									
A-5									
A-7									
A-8									
B-5									
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



### 4.1.3. Estructuración de sistemas estructurales

#### 4.1.3.1. Estructuración del Sistema Estructural Aporticado

Estructuración del Sistema Estructural Aporticado									
Viga (dirección)	h (m)	b (m)	Columna (localización)	d (m)	l (m)	Losa (dirección)	Tipo de losa	Dirección de armado de viguetas	Espesor (m)

#### 4.1.3.2. Estructuración de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica

Estructuración del Sistema Estructural Aporticado con Vigas Acarteladas de Sección Cónica																	
Viga (dirección)	h <sub>min</sub> (m)	b (m)	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	NA	NB	NC	Columna (localización)	d (m)	l (m)	Losa (dirección)	Tipo de losa	Dirección de armado de viguetas	Espesor (m)
			$h_{max} (m) = 0.25 \cdot H_{planta}$	$h_{max} (m) = 0.30 \cdot H_{planta}$	$h_{max} (m) = 0.35 \cdot H_{planta}$	$h_{max} (m) = 0.40 \cdot H_{planta}$	$h_{max} (m) = 0.45 \cdot H_{planta}$	Para todas las vigas [h <sub>max</sub> (m)]	Para solo vigas en dirección X [h <sub>max</sub> (m)]	Para intercalamiento entre vigas en dirección X [h <sub>max</sub> (m)]							



4.1.3.3. Estructuración de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica

Estructuración del Sistema Estructural Dual con Vigas Acarteladas de Sección Cónica																				
Viga (dirección)	h <sub>min</sub> (m)	b (m)	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	N <sub>A</sub>	N <sub>B</sub>	N <sub>C</sub>	Columna (localización)	d (m)	l (m)	Losas (dirección)	Tipo de losa	Dirección de armado de viguetas	Espesor (m)	Muro de corte (dirección)	d (m)	l (m)
			h <sub>max</sub> (m) = 0.25*Hplanta	h <sub>max</sub> (m) = 0.30*Hplanta	h <sub>max</sub> (m) = 0.35*Hplanta	h <sub>max</sub> (m) = 0.40*Hplanta	h <sub>max</sub> (m) = 0.45*Hplanta	Para todas las vigas [h <sub>max</sub> (m)]	Para solo vigas en dirección X [h <sub>max</sub> (m)]	Para intercalamiento entre vigas en dirección X [h <sub>max</sub> (m)]										

4.1.3.4. Estructuración del Sistema Estructural Dual

Estructuración del Sistema Estructural Dual												
Viga (dirección)	h (m)	b (m)	Columna (localización)	d (m)	l (m)	Losas (dirección)	Tipo de losa	Dirección de armado de viguetas	Espesor (m)	Muro de corte (dirección)	d (m)	l (m)



#### 4.1.4. Irregularidades Estructurales Sísmicas

##### 4.1.4.1. Irregularidades Geométricas

##### 4.1.4.1.1. Irregularidad de Geometría Vertical

Determinación de Irregularidad por Geometría Vertical						
Nivel	Longitud de planta (m)	Relación de longitudes (piso superior/inferior)	Ancho de planta (m)	Relación de anchos (piso superior/inferior)	Evaluación de irregularidad (Relaciones > 1.30)	Factor de irregularidad
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

##### 4.1.4.1.2. Irregularidad de Esquinas Entrantes

Determinación de Irregularidad por Esquinas Entrantes								
Nivel	Longitud de esquina (m)	Longitud de planta (m)	Longitud esquina/longitud planta (relación A)	Ancho de esquina (m)	Ancho de planta (m)	Ancho esquina/ancho planta (relación B)	Evaluación de irregularidad (Relaciones $A \wedge B > 0.20$ )	Factor de irregularidad
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								



#### 4.1.4.1.3. Irregularidad de Sistemas No Paralelos

Determinación de Irregularidad por Sistemas No Paralelos				
Nivel	Quiebre angular entre ejes adyacentes longitudinales (°)	Quiebre angular entre ejes adyacentes transversales (°)	Evaluación de irregularidad (Quiebres angulares > 30°)	Factor de irregularidad
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

#### 4.1.4.1.4. Irregularidad por Discontinuidad de Diafragma

Determinación de Irregularidad por Discontinuidad de Diafragma									
Nivel	Longitud de planta (m)	Ancho de planta (m)	Área de planta (m <sup>2</sup> )	Longitud de abertura (m)	Ancho de abertura (m)	Área de abertura (m <sup>2</sup> )	Porcentaje de abertura (%)	Evaluación de irregularidad (% de abertura > 50%)	Factor de irregularidad
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									



#### 4.1.4.2. Irregularidades Analíticas

##### 4.1.4.2.1. Irregularidad de Rigidez

Determinación de irregularidad de Rigidez														
Irregularidad de Rigidez por Sismo X							Factor de irregularidad	Irregularidad de Rigidez por Sismo Y						
Caso/Nivel	FX (tnf)	dr UX(cm)	Kv (tnf/cm)	Verificación 1 (Kvi / Kv(i+1))	Verificación 2 (Kvi / PROM(Kv(i+1)+Kv(i+2)+Kv(i+3)))	Evaluación de irregularidad		Caso/Nivel	FY (tnf)	dr UY(cm)	Kv (tnf/cm)	Verificación 1 (Kvi / Kv(i+1))	Verificación 2 (Kvi / PROM(Kv(i+1)+Kv(i+2)+Kv(i+3)))	Evaluación de irregularidad
SX/2														
SX/3														
SX/4														
SX/5														
SX/6														
SX/7														
SX/8														
SY/2														
SY/3														
SY/4														
SY/5														
SY/6														
SY/7														
SY/8														

##### 4.1.4.2.2. Irregularidad de Resistencia

Determinación de Irregularidad de Resistencia																												
Columna / Muro	b (cm)	d (cm)	Nivel 1			Nivel 2			Nivel 3			Nivel 4			Nivel 5			Nivel 6			Nivel 7			Nivel 8				
			Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)		
ΣVc (nivel) / Caso			Nivel 1 (X)			Nivel 2 (X)			Nivel 3 (X)			Nivel 4 (X)			Nivel 5 (X)			Nivel 6 (X)			Nivel 7 (X)			Nivel 8 (X)				
			Nivel 1 (Y)			Nivel 2 (Y)			Nivel 3 (Y)			Nivel 4 (Y)			Nivel 5 (Y)			Nivel 6 (Y)			Nivel 7 (Y)			Nivel 8 (Y)				
Evaluación [Vc(Nív. inferior) / Vc (Nív. superior)]			Nív. 1/Nív. 2 (X)			Nív. 2/Nív. 3 (X)			Nív. 3/Nív. 4 (X)			Nív. 4/Nív. 5 (X)			Nív. 5/Nív. 6 (X)			Nív. 6/Nív. 7 (X)			Nív. 7/Nív. 8 (X)						Factor de irregularidad	
			Nív. 1/Nív. 2 (Y)			Nív. 2/Nív. 3 (Y)			Nív. 3/Nív. 4 (Y)			Nív. 4/Nív. 5 (Y)			Nív. 5/Nív. 6 (Y)			Nív. 6/Nív. 7 (Y)			Nív. 7/Nív. 8 (Y)							



4.1.4.2.3. Irregularidad Torsional

Determinación de Irregularidad Torsional																				
Irregularidad Torsional por Sismo X										Factor de irregularidad	Irregularidad Torsional por Sismo Y									
Caso/Nivel	Nudo extremo A	Máx UX (cm)	Máx dr UX (cm)	Nudo extremo B	Mín. UX (cm)	Mín. dr UX (cm)	Prom. dr UX (cm)	(Máx. dr UX / Prom. dr UX)	Evaluación de irregularidad		Caso/Nivel	Nudo extremo A	Máx UY (cm)	Máx dr UY (cm)	Nudo extremo B	Mín. UY (cm)	Mín. dr UY (cm)	Prom. dr UY (cm)	(Máx. dr UY / Prom. dr UY)	Evaluación de irregularidad
SX/2											SY/2									
SX/3											SY/3									
SX/4											SY/4									
SX/5											SY/5									
SX/6											SY/6									
SX/7											SY/7									
SX/8											SY/8									

4.1.4.2.4. Irregularidad de Peso

Determinación de Irregularidad de Peso				
Nivel	FZ (tnf)	Relación piso inferior /superior	Evaluación de irregularidad	Factor de irregularidad
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				





#### 4.1.5. Espectro Sísmico de Diseño

Espectro sísmico de diseño						
Parámetro	Nomenclatura	Condición	Factor	Factor de amplificación (C)	Pseudo aceleración (m/s <sup>2</sup> )	Periodo (s)
Factor de zona	Z					0.000
Factor de uso	U					0.025
Factor de suelo	S					0.050
Factor de reducción básico	R0					0.075
Factor de irregularidad de altura	Ia					0.100
Factor de irregularidad de planta	Ip					0.125
Factor de reducción sísmica	R					0.150
						0.175
	Tp (s)					0.200
	Tl (s)					0.225
	g (m/s <sup>2</sup> )	aceleración de gravedad	9.80665			0.250
						0.275
						0.300
						0.325
						0.350
						0.375
				...	...	...



## 4.2. Instrumentos de ingeniería

- Microsoft Office Word 2021
- Microsoft Office Excel 2021
- Autodesk AutoCAD 2021
- Revit 2022
- Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2022

## 5. Procedimientos de Recolección de datos

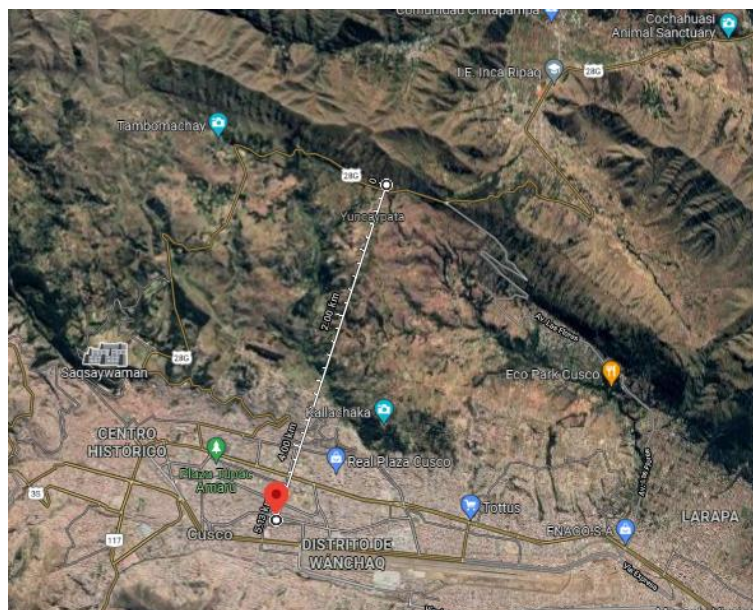
### 5.1. Revisión técnica

#### 5.1.1. Revisión de datos de sitio

La edificación de la “Residencial Kala” se ubica en el lote N° 2 de la manzana “O” (O-2) del del *jirón Chumbivilcas*, en la *urbanización Progreso*, distrito de *Wanchaq*, provincia de Cusco, región de Cusco, Perú. Se precisó que esta ubicación se encontraba a aproximadamente 5.2 km de la Falla de Tambomachay.

**Figura III- 1**

*Distancia de la edificación a la Falla de Tambomachay*



### 5.1.2. Revisión de datos de arquitectura

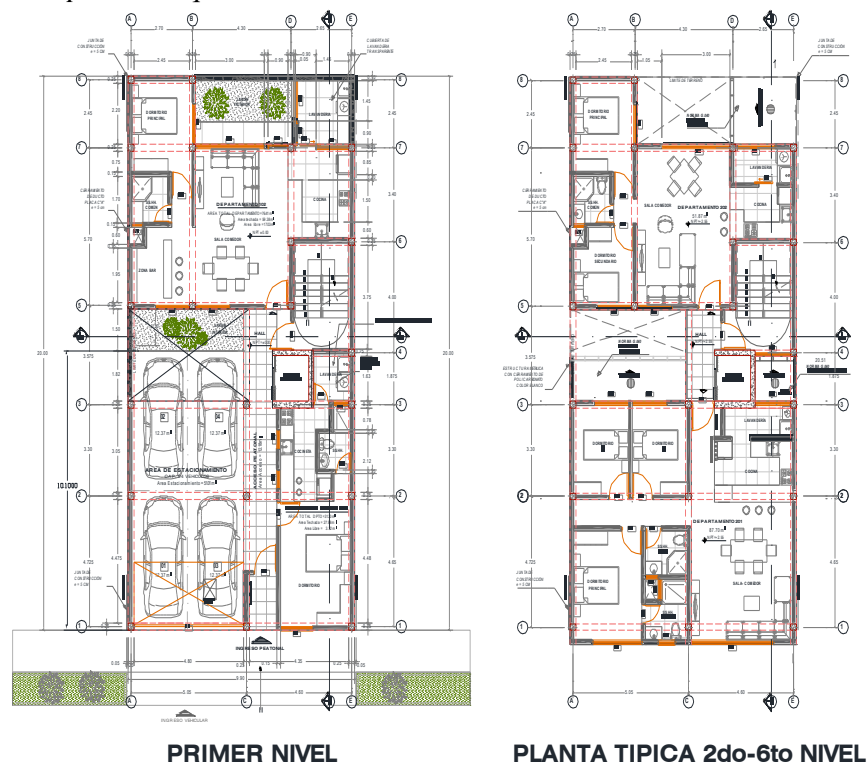
La edificación fue diseñada para funcionar como una vivienda multifamiliar por departamentos independientes, constando de 6 plantas concretas. Pero para motivos de esta investigación se amplió a un diseño hipotético de la edificación elevada para 8 plantas, repitiendo dos veces la planta típica de los pisos inferiores. El área de terreno en el que la edificación fue construida consta de 198.00 m<sup>2</sup>

La primera planta, emplazada sobre el terreno, estaba compuesta de divisiones destinadas a un garaje para 4 automóviles, 2 mini departamentos, un área de común de pasillos, cubículos para las escaleras y un ascensor de seis personas.

La segunda planta, que se declaró como la planta típica, estaba compuesta de dos departamentos, un área común para los pasillos, los cubículos de escaleras y ascensor, tres ductos para la iluminación y pase de instalaciones eléctricas y sanitarias, así como de un volado hacia la calle de 0.50 m de ancho y sobre toda la longitud de la fachada. Esta división de planta y las respectivas distribuciones de ambientes para cada departamento se repetían hasta la octava planta. La octava planta cargaba con la cobertura de la edificación que era techo alivianado de teja andina, dispuesto a dos aguas por departamento. La altura de entrepiso para todas las plantas se diseñó en 2.55 m.

**Figura III- 2**

*Planos de las plantas arquitectónicas de la "residencial Kala"*





### 5.1.3. *Revisión de datos de estructuras*

El diseño original de la estructura provisto para esta edificación estuvo compuesto de un sistema estructural Dual en concreto armado, calculado para un concreto de resistencia nominal a la compresión de  $210 \text{ kgf/cm}^2$  y refuerzo de acero de resistencia nominal a la fluencia de  $4200 \text{ kgf/cm}^2$ .

El sistema estructural estuvo compuesto de 5 tipos de columnas de sección transversal constante, vigas con 2 geometrías de sección constante o prismática, losas aligeradas armadas en un sentido de 20 cm de espesor, un núcleo de ascensor compuesto de tres placas de espesor constante y un sistema de losas macizas armadas en dos sentidos tanto para las escaleras, como para el vestíbulo del ascensor de 15 cm de espesor.

Los muros no portantes fueron diseñados en mampostería de ladrillo sólido de arcilla y se distribuyeron sobre las vigas y losas de la estructura en la cualidad de ser exteriores, tabiques o parapetos, diseñados en parejo en soga para todos los casos.

La cimentación sobre la cual la estructura fue fundada consistió en tres tipos de zapatas aisladas y dos tipos de zapatas combinadas.

### 5.1.4. *Revisión de datos suelo de fundación*

Según el programa de investigación derivado del Estudio de Mecánica de Suelos clasificó a los suelos de fundación, según la nomenclatura SUCS, como SM (arenas limosas) y en menor presencia como SC (arenas arcillosas).

La profundidad de fundación fue determinada en 1.60 m por debajo del nivel de terreno a la altura de la vía pública.



## 5.2. Estructuración

### 5.2.1. Metrado de cargas

#### 5.2.1.1. Metrado de cargas en vigas

Se realizó el metrado de cargas sobre todas las vigas del sistema estructural preconcebido. Para lo cual se tomó en cuenta las cargas ejercidas por los tabiques, alfeizares, ventanas y puertas; calculándose estas según los pesos específicos de sus materiales constituyentes y las geometrías expuestas en los planos de arquitectura.

**Tabla III- 1**

*Resumen de metrado de cargas en vigas*

Resumen de cargas en vigas							
Vigas	Altura de entepiso (m)	Pre-peralte de viga (m)	Distancia entre ejes (m)	Luz libre (m)	Altura libre (m)	Peso muerto (kgf)	Carga muerta (kgf/m)
2° → 7°: 1' - 1 / A	2.55	0.25	0.625	0.500	2.30	315.79	<b>632</b>
2° → 7°: 1 - 2 / A	2.55	0.25	4.725	4.475	2.30	2826.32	<b>632</b>
2° → 7°: 2 - 3 / A	2.55	0.25	3.300	3.050	2.30	1926.32	<b>632</b>
2° → 7°: 3 - 5 / A	2.55	0.25	3.575	3.325	2.30	0.00	<b>0</b>
2° → 7°: 5 - 7 / A	2.55	0.25	5.700	5.450	2.30	3328.43	<b>611</b>
2° → 7°: 7 - 8 / A	2.55	0.25	2.450	2.200	2.30	1389.48	<b>632</b>
2° → 7°: 5 - 7 / B	2.55	0.25	5.700	5.450	2.30	2951.31	<b>542</b>
2° → 7°: 7 - 8 / B	2.55	0.25	2.450	2.200	2.30	862.49	<b>392</b>
2° → 7°: 1' - 1 / C	2.55	0.25	0.625	0.500	2.30	315.79	<b>632</b>
2° → 7°: 1 - 2 / C	2.55	0.25	4.725	4.475	2.30	2210.53	<b>494</b>
2° → 7°: 2 - 3 / C	2.55	0.25	3.300	3.050	2.30	1926.32	<b>632</b>
2° → 7°: 3 - 5 / C	2.55	0.25	3.575	3.325	2.30	0.00	<b>0</b>
2° → 7°: 5 - 6 / D	2.55	0.25	2.300	2.050	2.30	1294.74	<b>632</b>
2° → 7°: 6 - 7 / D	2.55	0.25	3.400	3.150	2.30	821.05	<b>261</b>
2° → 7°: 1' - 1 / E	2.55	0.25	0.625	0.500	2.30	315.79	<b>632</b>
2° → 7°: 1 - 2 / E	2.55	0.25	4.725	4.475	2.30	2826.32	<b>632</b>
2° → 7°: 2 - 3 / E	2.55	0.25	3.300	3.050	2.30	1926.32	<b>632</b>
2° → 7°: 3 - 4 / E	2.55	0.25	1.875	1.625	2.30	429.81	<b>265</b>
2° → 7°: 4 - 6 / E	2.55	0.25	4.000	3.750	2.30	2368.43	<b>632</b>
2° → 7°: 6 - 7 / E	2.55	0.25	3.400	3.150	2.30	1989.48	<b>632</b>
2° → 7°: A - C / 1'	2.55	0.20	5.050	4.800	2.35	1943.36	<b>405</b>
2° → 7°: C - E / 1'	2.55	0.20	4.600	4.350	2.35	1124.89	<b>259</b>
2° → 7°: A - C / 1	2.55	0.25	5.050	4.800	2.30	157.90	<b>33</b>
2° → 7°: C - E / 1	2.55	0.25	4.600	4.350	2.30	0.00	<b>0</b>
2° → 7°: A - C / 2	2.55	0.25	5.050	4.800	2.30	2034.20	<b>424</b>
2° → 7°: C - E / 2	2.55	0.25	4.600	4.350	2.30	0.00	<b>0</b>
2° → 7°: A - C / 3	2.55	0.25	5.050	4.800	2.30	1925.47	<b>401</b>
2° → 7°: C - E / 3	2.55	0.25	4.600	4.350	2.30	1779.54	<b>409</b>
2° → 7°: A - B / 7	2.55	0.25	4.600	4.350	2.30	1713.41	<b>0</b>
2° → 7°: A - B / 5	2.55	0.25	2.700	2.450	2.30	1002.21	<b>409</b>
2° → 7°: B - D / 5	2.55	0.25	4.300	4.050	2.30	1467.41	<b>362</b>
2° → 7°: D - E / 6	2.55	0.25	2.650	2.400	2.30	1515.79	<b>632</b>
2° → 7°: B - D / 7	2.55	0.25	4.300	4.050	2.30	1467.58	<b>362</b>
2° → 7°: D - E / 7	2.55	0.25	2.650	2.400	2.30	1044.62	<b>435</b>
2° → 7°: A - B / 8	2.55	0.25	2.700	2.450	2.30	1547.37	<b>632</b>



### 5.2.1.2. Metrado de cargas en losas

En este metrado igualmente se calcularon las cargas de tabiquería, alfeizares, puertas y ventanas sobre cada una de las losas de las plantas arquitectónicas. Metódicamente se empleó la norma técnica E.020: Cargas, para determinar las cargas vivas en las plantas típicas a modelarse (2°-7° nivel) y el entretecho (8° nivel).

**Tabla III- 2**  
*Resumen de metrado de carga en losas*

Resumen de cargas en losas					
Losa	Distancia entre ejes 1 (m)	Distancia entre ejes 2 (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga muerta (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga viva (kgf/m <sup>2</sup> )
2° → 7°: 1 - 1' / A - C	0.625	5.050	3.156	198	200
2° → 7°: 1 - 1' / C - E	0.625	4.600	2.875	127	200
2° → 7°: 1 - 2 / A - C	4.725	5.050	23.861	374	200
2° → 7°: 1 - 2 / C - E	4.725	4.600	21.735	127	200
2° → 7°: 2 - 3 / A - C	3.300	5.050	16.665	248	200
2° → 7°: 2 - 3 / C - E	3.300	4.600	15.180	254	200
2° → 7°: 3 - 5 / C - E	3.575	4.600	8.803	170	200
2° → 7°: 5 - 7 / A - B	5.700	2.700	15.390	368	200
2° → 7°: 5 - 7 / B - D	5.700	4.300	24.510	127	200
2° → 7°: 6 - 7 / D - E	3.400	2.650	9.010	256	200
2° → 7°: 7 - 8 / A - B	2.450	2.700	6.615	127	200
8°: 1 - 1' / A - C	0.625	5.050	3.156	75	100
8°: 1 - 1' / C - E	0.625	4.600	2.875	75	100
8°: 1 - 2 / A - C	4.725	5.050	23.861	75	100
8°: 1 - 2 / C - E	4.725	4.600	21.735	75	100
8°: 2 - 3 / A - C	3.300	5.050	16.665	75	100
8°: 2 - 3 / C - E	3.300	4.600	15.180	75	100
8°: 3 - 5 / C - E	3.575	4.600	8.803	125	100
8°: 5 - 7 / A - B	5.700	2.700	15.390	75	100
8°: 5 - 7 / B - D	5.700	4.300	24.510	75	100
8°: 6 - 7 / D - E	3.400	2.650	9.010	75	100
8°: 7 - 8 / A - B	2.450	2.700	6.615	75	100

### 5.2.2. *Definición de propiedades del concreto*

Se realizó un resumen tabulado de las propiedades mecánicas del concreto extraídas de la memoria técnica del proyecto, y que en esta investigación son digitadas como datos de entrada para el análisis estructural.

**Tabla III- 3**  
*Recopilación de propiedades del concreto del proyecto*

Propiedades del concreto			
Propiedad	Símbolo	Valor	Unidad
Resistencia nominal a la compresión	f <sub>c</sub>	210.000	kgf/cm <sup>2</sup>
Módulo de Young	E <sub>c</sub>	217370.651	kgf/cm <sup>2</sup>
Relación de Poisson	ν <sub>c</sub>	0.15	-
Módulo de corte	G <sub>c</sub>	94508.979	kgf/cm <sup>2</sup>
Fracción de amortiguamiento crítico	λ <sub>c</sub>	0.05	-
Peso específico	P <sub>c</sub>	2400	kgf/m <sup>3</sup>



### 5.2.3. Pre-dimensionamiento de elementos estructurales

En este procedimiento se tuvo que determinar nuevamente las dimensiones seccionales preliminares de vigas, columnas, muros y losas de la concepción estructural de la “Residencial Kala” ya que se realizó igualmente un nuevo metrado de cargas y además la estructura probeta tenía como objetivo ser evaluada hipotéticamente para ocho niveles. No obstante, se respetó la localización y cuantificación originales de elementos estructurales por planta, cuya información se extrajo de los planos arquitectónicos.

#### 5.2.3.1. Pre-dimensionamiento de vigas

En este punto se utilizó la siguiente fórmula (Morales Morales, 2006) que balancea el momento actuante sobre el momento último resistente de la sección de viga de concreto armado y establece un peralte mínimo calculado ( $h_{pre}$ ) de:

$$h_{pre} = \frac{L_n}{4 \sqrt{w_s}} \quad (III-1)$$

Donde:

$L_n$  es la luz entre apoyos de la viga.

$w_s$  es la carga de servicio repartida superficialmente sobre el ancho tributario de la viga y su longitud.

Así también, como cálculos auxiliares se recurrió a las fórmulas empíricas de dividir  $L_n$  entre 10, para determinar el peralte de vigas principales; y entre 15, para determinar el peralte de vigas secundarias, de conexión o en voladizo. Para luego determinar la base de sección de viga ( $b$ ) como la mitad del peralte predimensionado.

**Tabla III- 4**

Resumen de pre-dimensionamiento de vigas

Resumen de pre-dimensionamiento de vigas									
Vigas (localización)	Luz libre (m)	Consideración de carga	Carga superficial total (kgf/m <sup>2</sup> )	Peralte calculado (m)	Peralte mínimo (m)	$L_n/10$ (Principales)	$L_n/15$ (Secundarias / conexión / voladizas)	Peralte asumido (m)	Ancho de viga (m)
2° → 7°: 1 - 1 / A	0.500	Voladizo	748.24	0.03	0.20		0.04	0.20	0.25
2° → 7°: 1 - 2 / A	4.475	Principal	924.15	0.34	0.35	0.45		0.40	0.25
2° → 7°: 2 - 3 / A	3.050	Principal	798.66	0.22	0.25	0.31		0.30	0.25
2° → 7°: 3 - 5 / A	3.325	Conexión	0.00	0.00	0.25		0.22	0.25	0.25
2° → 7°: 5 - 7 / A	5.450	Principal	1200.85	0.47	0.50	0.55		0.50	0.30
2° → 7°: 7 - 8 / A	2.200	Principal	981.47	0.17	0.25	0.22		0.25	0.25
2° → 7°: 5 - 7 / B	5.450	Principal	1000.73	0.43	0.45	0.55		0.50	0.30
2° → 7°: 7 - 8 / B	2.200	Principal	733.06	0.15	0.25	0.22		0.25	0.25





2° → 7°: 1' - 1 / C	0.500	Voladizo	764.57	0.03	0.20		0.03	0.20	0.25
2° → 7°: 1 - 2 / C	4.475	Principal	860.62	0.33	0.35	0.45		0.40	0.25
2° → 7°: 2 - 3 / C	3.050	Principal	820.79	0.22	0.25	0.31		0.30	0.25
2° → 7°: 3 - 5 / C	3.325	Conexión	369.83	0.16	0.25		0.22	0.25	0.25
2° → 7°: 5 - 6 / D	2.050	Principal	737.76	0.14	0.25	0.21		0.25	0.25
2° → 7°: 6 - 7 / D	3.150	Principal	666.10	0.20	0.25	0.32		0.30	0.25
2° → 7°: 1' - 1 / E	0.500	Voladizo	710.94	0.03	0.20		0.03	0.20	0.25
2° → 7°: 1 - 2 / E	4.475	Principal	710.94	0.30	0.30	0.45		0.40	0.25
2° → 7°: 2 - 3 / E	3.050	Principal	838.72	0.22	0.25	0.31		0.30	0.25
2° → 7°: 3 - 4 / E	1.625	Conexión	0.00	0.00	0.25		0.11	0.25	0.25
2° → 7°: 4 - 6 / E	3.750	Principal	754.27	0.26	0.30	0.38		0.35	0.25
2° → 7°: 6 - 7 / E	3.150	Principal	1123.41	0.26	0.30	0.32		0.35	0.25
2° → 7°: A - C / 1'	4.800	Vigüeta	0.00	0.00	0.20			0.20	0.15
2° → 7°: C - E / 1'	4.350	Vigüeta	0.00	0.00	0.20			0.20	0.15
2° → 7°: A - C / 1	4.800	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.32	0.30	0.25
2° → 7°: C - E / 1	4.350	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.29	0.30	0.25
2° → 7°: A - C / 2	4.800	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.32	0.30	0.25
2° → 7°: C - E / 2	4.350	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.29	0.30	0.25
2° → 7°: A - C / 3	4.800	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.32	0.30	0.25
2° → 7°: C - E / 3	4.350	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.29	0.30	0.25
2° → 7°: C - E / 4	4.350	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.29	0.30	0.25
2° → 7°: A - B / 5	2.450	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.16	0.25	0.25
2° → 7°: B - D / 5	4.050	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.27	0.30	0.25
2° → 7°: D - E / 6	2.400	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.16	0.25	0.25
2° → 7°: B - D / 7	4.050	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.27	0.30	0.25
2° → 7°: D - E / 7	2.400	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.16	0.25	0.25
2° → 7°: A - B / 8	2.450	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.16	0.25	0.25
8°: 1' - 1 / A	0.500	Voladizo	175.00	0.02	0.20		0.03	0.20	0.25
8°: 1 - 2 / A	4.475	Principal	175.00	0.15	0.25	0.45		0.35	0.25
8°: 2 - 3 / A	3.050	Principal	175.00	0.10	0.25	0.31		0.30	0.25
8°: 3 - 5 / A	3.325	Conexión	0.00	0.00	0.25		0.22	0.25	0.25
8°: 5 - 7 / A	5.450	Principal	175.00	0.18	0.25	0.55		0.40	0.25
8°: 7 - 8 / A	2.200	Principal	175.00	0.07	0.25	0.22		0.25	0.25
8°: 5 - 7 / B	5.450	Principal	175.00	0.18	0.25	0.55		0.40	0.25
8°: 7 - 8 / B	2.200	Principal	175.00	0.07	0.25	0.22		0.25	0.25
8°: 1' - 1 / C	0.500	Voladizo	175.00	0.02	0.20		0.03	0.20	0.25
8°: 1 - 2 / C	4.475	Principal	175.00	0.15	0.25	0.45		0.40	0.25
8°: 2 - 3 / C	3.050	Principal	175.00	0.10	0.25	0.31		0.30	0.25
8°: 3 - 5 / C	3.325	Conexión	225.00	0.12	0.25		0.22	0.25	0.25
8°: 5 - 6 / D	2.050	Principal	175.00	0.07	0.25	0.21		0.25	0.25
8°: 6 - 7 / D	3.150	Principal	175.00	0.10	0.25	0.32		0.30	0.25
8°: 1' - 1 / E	0.500	Voladizo	175.00	0.02	0.20		0.03	0.20	0.25
8°: 1 - 2 / E	4.475	Principal	175.00	0.15	0.25	0.45		0.35	0.25
8°: 2 - 3 / E	3.050	Principal	175.00	0.10	0.25	0.31		0.30	0.25
8°: 3 - 4 / E	1.625	Conexión	0.00	0.00	0.25		0.11	0.25	0.25
8°: 4 - 6 / E	3.750	Principal	175.00	0.12	0.25	0.38		0.35	0.25
8°: 6 - 7 / E	3.150	Principal	175.00	0.10	0.25	0.32		0.30	0.25
8°: A - C / 1'	4.800	Vigüeta	0.00	0.00	0.20			0.20	0.15
8°: C - E / 1'	4.350	Vigüeta	0.00	0.00	0.20			0.20	0.15
8°: A - C / 1	4.800	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.32	0.30	0.25
8°: C - E / 1	4.350	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.29	0.30	0.25
8°: A - C / 2	4.800	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.32	0.30	0.25
8°: C - E / 2	4.350	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.29	0.30	0.25
8°: A - C / 3	4.800	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.32	0.30	0.25
8°: C - E / 3	4.350	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.29	0.30	0.25
8°: C - E / 4	4.350	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.29	0.30	0.25
8°: A - B / 5	2.450	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.16	0.25	0.25
8°: B - D / 5	4.050	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.27	0.30	0.25
8°: D - E / 6	2.400	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.16	0.25	0.25
8°: B - D / 7	4.050	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.27	0.30	0.25
8°: D - E / 7	2.400	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.16	0.25	0.25
8°: A - B / 8	2.450	Secundaria	0.00	0.00	0.25		0.16	0.25	0.25

### 5.2.3.2. Pre-dimensionamiento de columnas

En esta parte, las columnas fueron pre-dimensionadas por área bruta de sección transversal ( $A_{g,pre}$ ) teniendo en cuenta factores de amplificación ( $n_A$ ) de carga gravitatoria de servicio ( $P_g$ ) y factores de reducción de resistencia ( $n_R$ ), ambos en función de la localización de la columna (esquinera, interna o lateral), para la siguiente fórmula (Morales Morales, 2006):

$$A_{g,pre} = \frac{n_A * P_g}{n_R * f'_c} \quad (III-2)$$



**Tabla III- 5**  
*Factores para pre-dimensionamiento de columnas*

Posición de columna	Factor de amplificación de carga (nA)	Factor de reducción de resistencia (nR)
Esquinera	1.50	0.20
Interna	1.10	0.30
Lateral	1.25	0.25

Fuente: Morales (2006)

**Tabla III- 6**  
*Resumen de pre-dimensionamiento de columnas*

Resumen de pre-dimensionamiento de columnas						
Columna	Posición	Carga de servicio (tnf)	Área calculada (cm <sup>2</sup> )	Longitud x asumida (cm)	Longitud y asumida (cm)	Área asumida (cm <sup>2</sup> )
A-1	Esquinera	73.9222	2640	35	80	2800
A-2	Lateral	86.1455	2051	70	30	2100
A-3	Lateral	49.1026	1169	40	30	1200
A-5	Lateral	55.7283	1327	45	30	1350
A-7	Lateral	59.966	1428	30	50	1500
A-8	Esquinera	24.849	887	30	30	900
B-5	Interna	77.0789	1346	30	45	1350
B-7	Esquinera	77.7875	2778	80	35	2800
B-8	Esquinera	21.9006	782	30	30	900
C-1	Lateral	100.6381	2396	35	70	2450
C-2	Interna	124.3431	2171	65	35	2275
C-3	Interna	90.2017	1575	45	35	1575
D-5	Interna	48.0583	839	30	30	900
D-6	Interna	58.6642	1024	35	30	1050
D-7	Lateral	48.3539	1151	40	30	1200
E-1	Esquinera	57.4571	2052	70	30	2100
E-2	Lateral	71.7059	1707	60	30	1800
E-3	Lateral	47.4675	1130	40	30	1200
E-4	Lateral	43.236	1029	35	30	1050
E-6	Lateral	43.6668	1040	35	30	1050
E-7	Esquinera	28.7641	1027	35	30	1050

### 5.2.3.3. Pre-dimensionamiento de muros de corte

Para este procedimiento se utilizó la misma metodología que en el pre-dimensionamiento de columnas. Sin embargo, se llevó a cabo proceso iterativo dentro de un preanálisis estructural para determinar las localizaciones y las áreas brutas de secciones transversales de muros de corte, necesarias para que el Sistema Estructural Dual logre satisfacer mínimamente las derivas inelásticas máximas permitidas según los artículos N° 31 y N°32 de la norma E.030.



**Tabla III- 7**  
*Resumen de pre-dimensionamiento de muros de corte*

Resumen de pre-dimensionamiento de muros de corte							
Columna	Posición	Carga de servicio (tnf)	Área calculada (cm <sup>2</sup> )	Longitud x asumida (cm)	Longitud y asumida (cm)	Relación (longitud/espesor) > 2.50	Área asumida (cm <sup>2</sup> )
A-2	Lateral	95.6265	2277	167.5	25	6.70	4188
C-2	Interna	114.3595	1997	167.5	25	6.70	4188
E-2	Lateral	73.6557	1754	135	25	5.40	3375
D-3	Interna	36.7065	641	170	25	6.80	4250
D-4	Interna	43.4226	758	170	25	6.80	4250
(D'-3) - (D'-4)	Interna	42.9772	750	25	187.5	7.50	4688
B-5	Interna	105.8767	1849	30	200	6.67	6000
(D-6) - (E-6)	Lateral	116.911	2784	265	35	7.57	9275

#### 5.2.3.4. Pre-dimensionamiento de losas

Se tomaron en cuenta losas aligeradas de proyecto con una geometría de 20 cm de peralte, una membrana de 5 cm, espaciamiento entre ejes de viguetas de 40 cm y ancho de vigueta de 10 cm. Además de tomarse en cuenta la losa del vestíbulo de ascensor según el diseño como losa maciza de 15 cm de espesor.



## 5.2.4. Concepción de sistemas estructurales de estudio

### 5.2.4.1. Estructuración del Sistema Estructural Aporticado – Caso SEA

**Tabla III- 8**

*Estructuración de Sistema Aporticado*

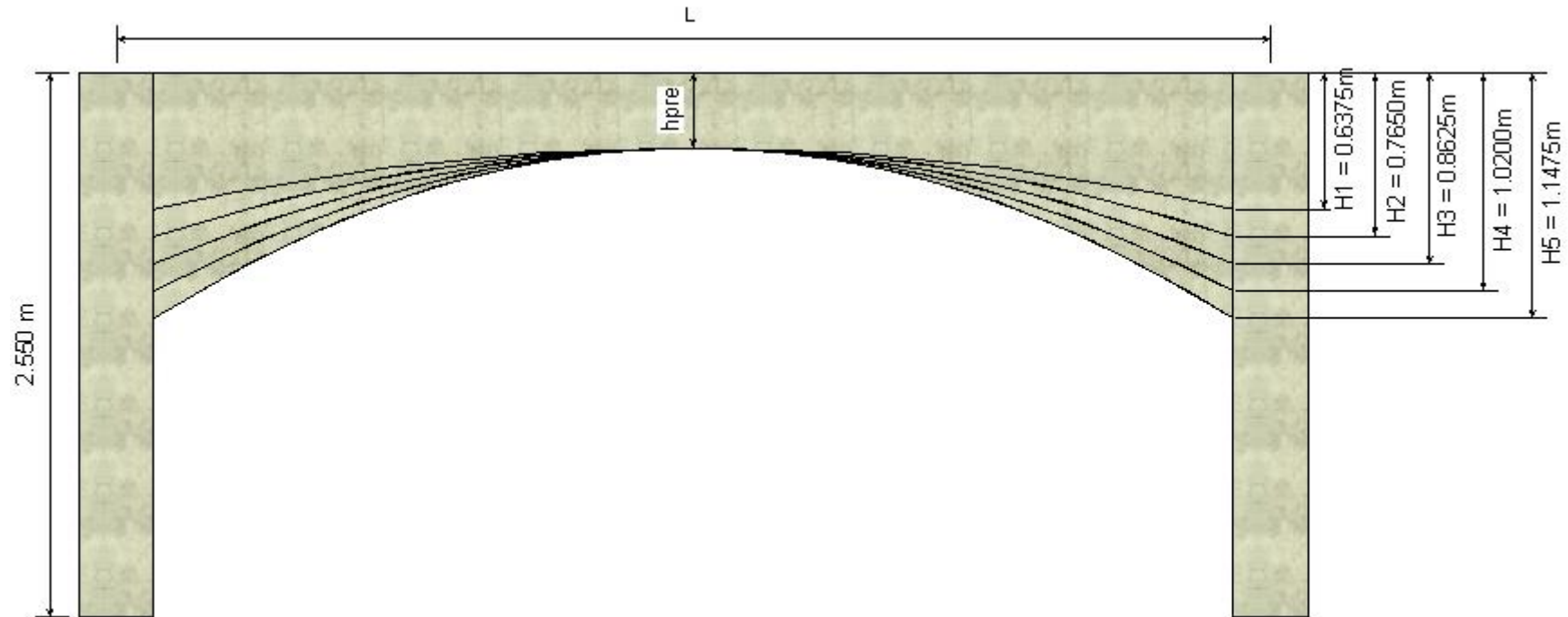
Estructuración del Sistema Estructural Aporticado - Caso SEA									
Viga (dirección)	h (m)	b (m)	Columna (localización)	d (m)	l (m)	Losa (dirección)	Tipo de losa	Dirección de armado de viguetas	Espesor (m)
2° → 8°: 1' - 1 / A	0.20	0.20	A-1	0.35	0.85	2° → 8°: 1 - 1' / A - C	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 1 - 2 / A	0.50	0.30	A-2	0.85	0.35	2° → 8°: 1 - 1' / C - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 2 - 3 / A	0.50	0.30	A-3	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 2 / A - C	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 3 - 5 / A	0.50	0.30	A-5	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 2 / C - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 5 - 7 / A	0.50	0.30	A-7	0.35	0.85	2° → 8°: 2 - 3 / A - C	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 7 - 8 / A	0.50	0.30	A-8	0.85	0.35	2° → 8°: 2 - 3 / C - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 5 - 7 / B	0.50	0.30	B-5	0.35	0.85	2° → 8°: 3 - 5 / C - E	maciza	X-Y	0.15
2° → 8°: 7 - 8 / B	0.50	0.30	B-7	0.85	0.35	2° → 8°: 5 - 7 / A - B	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 1' - 1 / C	0.20	0.20	B-8	0.85	0.35	2° → 8°: 5 - 7 / B - D	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 1 - 2 / C	0.40	0.25	C-1	0.35	0.85	2° → 8°: 6 - 7 / D - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 2 - 3 / C	0.40	0.25	C-2	0.85	0.35	2° → 8°: 7 - 8 / A - B	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 3 - 5 / C	0.40	0.25	C-3	0.95	0.40				
2° → 8°: 5 - 6 / D	0.40	0.25	D-5	0.35	0.85				
2° → 8°: 6 - 7 / D	0.40	0.25	D-6	0.85	0.35				
2° → 8°: 1' - 1 / E	0.20	0.20	D-7	0.85	0.35				
2° → 8°: 1 - 2 / E	0.40	0.25	E-1	0.35	0.85				
2° → 8°: 2 - 3 / E	0.40	0.25	E-2	0.85	0.35				
2° → 8°: 3 - 4 / E	0.40	0.25	E-3	0.35	0.85				
2° → 8°: 4 - 6 / E	0.40	0.25	E-4	0.35	0.85				
2° → 8°: 6 - 7 / E	0.40	0.25	E-6	0.85	0.35				
2° → 8°: A - C / 1'	0.20	0.15	E-7	0.85	0.35				
2° → 8°: C - E / 1'	0.20	0.15							
2° → 8°: A - C / 1	0.35	0.25							
2° → 8°: C - E / 1	0.35	0.25							
2° → 8°: A - C / 2	0.35	0.25							
2° → 8°: C - E / 2	0.35	0.25							
2° → 8°: A - C / 3	0.35	0.25							
2° → 8°: C - E / 3	0.35	0.25							
2° → 8°: A - B / 5	0.40	0.25							
2° → 8°: B - D / 5	0.40	0.25							
2° → 8°: D - E / 6	0.35	0.25							
2° → 8°: A - B / 7	0.35	0.25							
2° → 8°: B - D / 7	0.35	0.25							
2° → 8°: D - E / 7	0.35	0.25							
2° → 8°: A - B / 8	0.35	0.25							



### 5.2.4.2. Dimensionamiento general de Vigas Acarteladas de estudio

**Figura III- 3**

*Peraltes máximos de acartelamiento para Vigas Acarteladas*



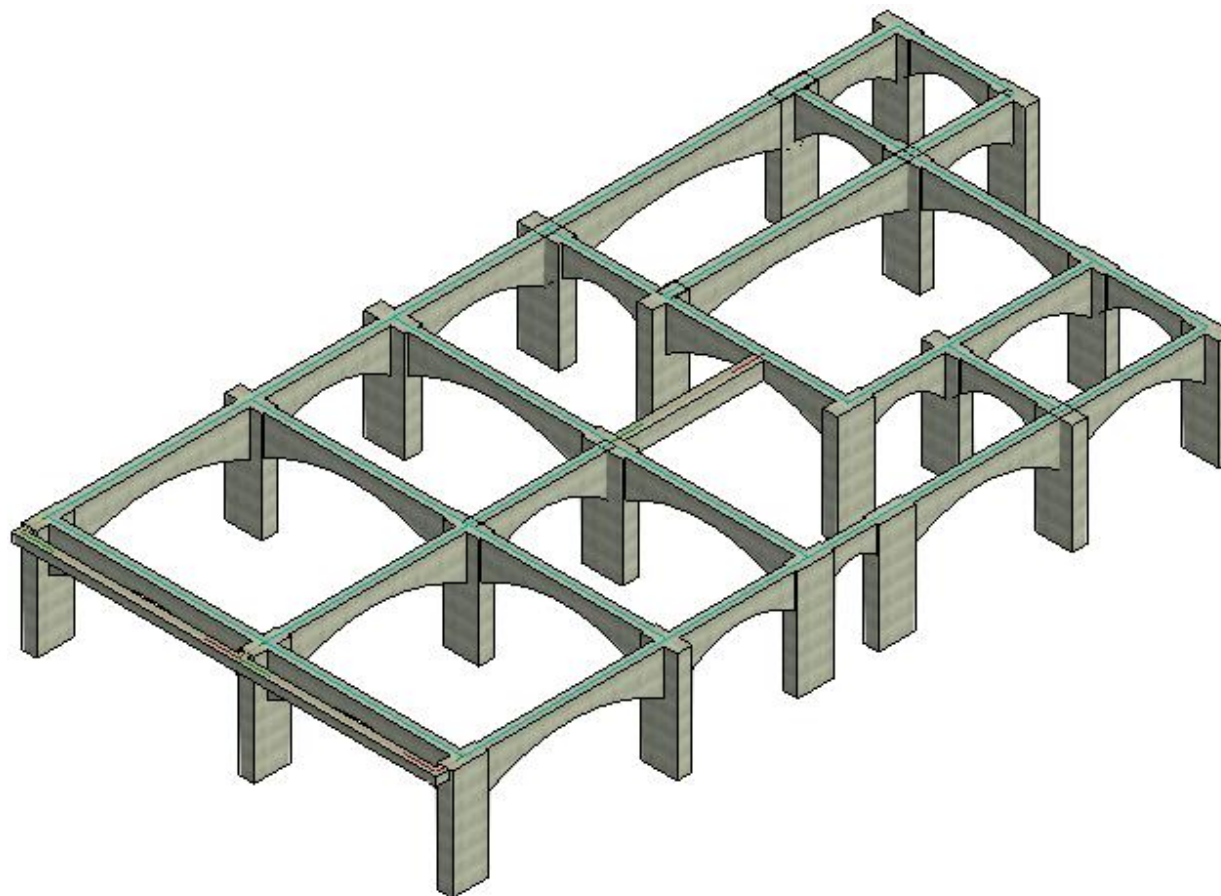
En la *Figura III-3*, se muestra las variaciones de peralte para todas las Vigas Acarteladas por las que se optaron en los casos de estudio. Teniéndose que para toda Viga Acartelada con cualquier luz ( $L$ ) y cualquier peralte predimensionado ( $h_{pre}$ ); se consideró cinco peraltes de acartelamiento proporcionales a la altura de entrepiso ( $2.55\text{ m}$ ), que equivalen a  $0.25$ ,  $0.30$ ,  $0.35$ ,  $0.40$  y  $0.45$  veces esta, en correspondencia a las nomenclaturas  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ ,  $H_4$  y  $H_5$ ; respectivamente.



5.2.4.3. Configuraciones generales de Vigas Acarteladas dentro de los sistemas de estudio

**Figura III- 4**

*Configuración de Vigas Acarteladas -Na*

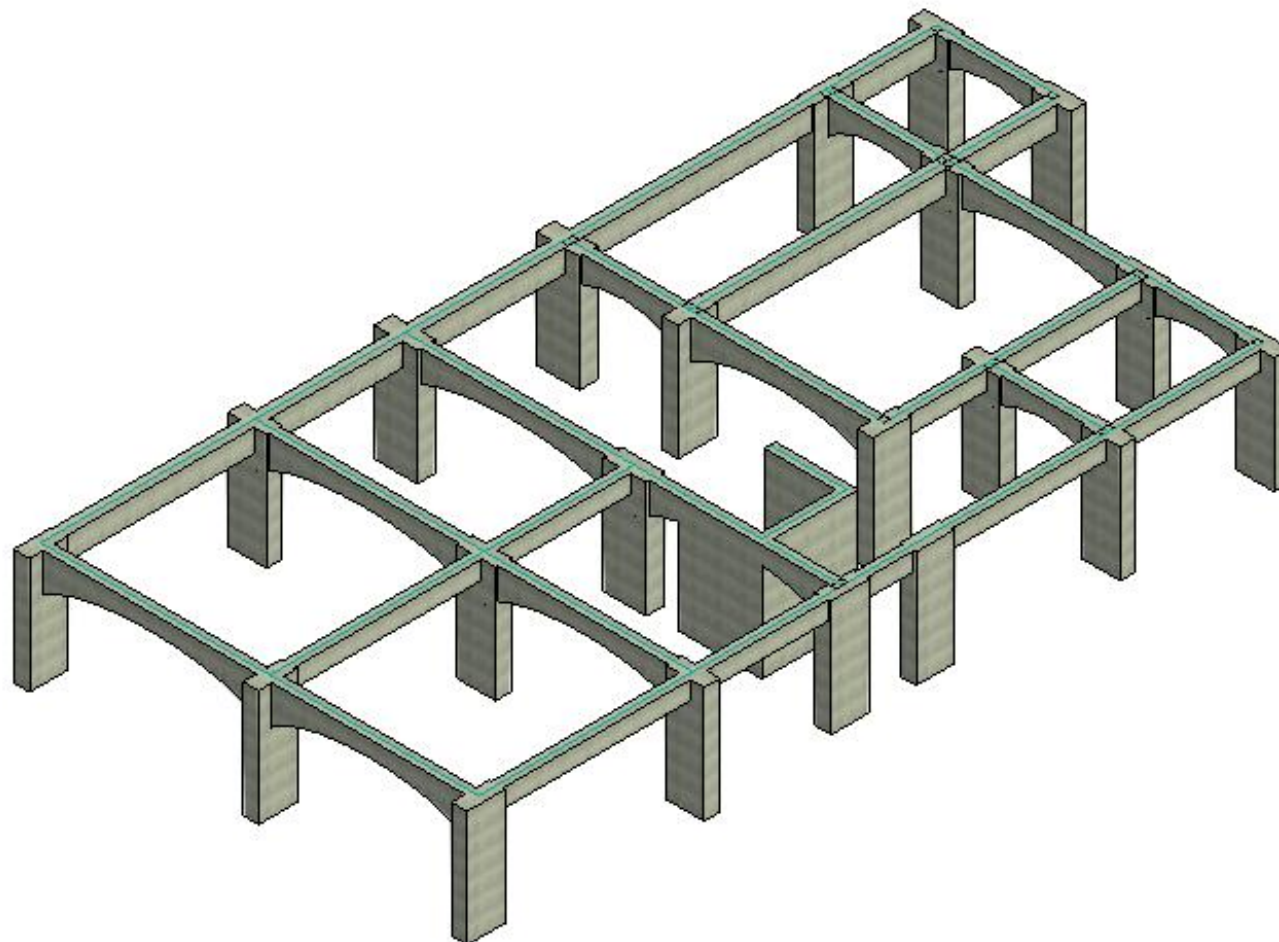


La configuración declarada como “Na” condicionaba a las estructuraciones de estudio, a que todas sus Vigas fuesen Acarteladas (menos las voladizas). Y fue establecida tanto para las propuestas de sistemas Aporticados como para Duales.





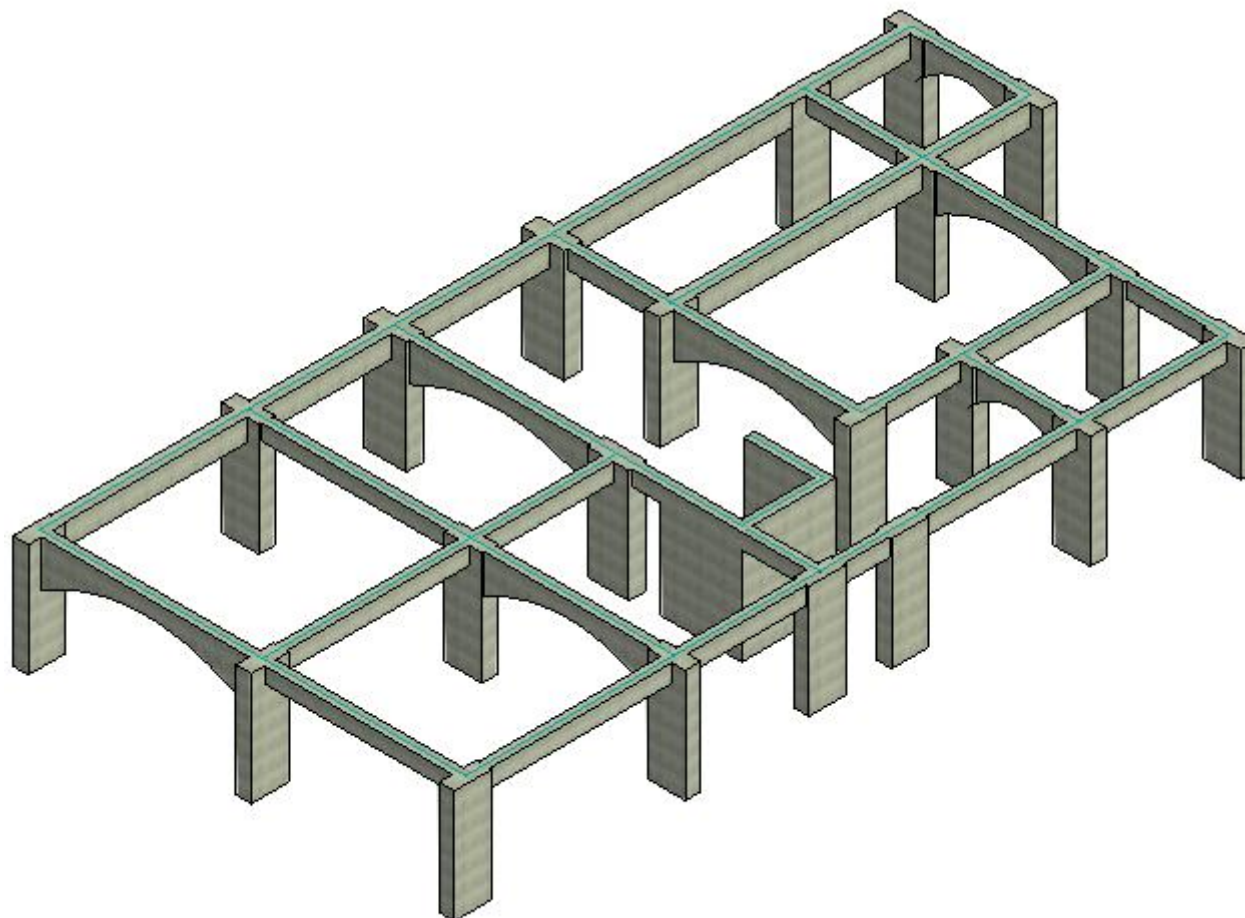
**Figura III- 5:**  
*Configuración de Vigas Acarteladas -Nb*



La configuración declarada como “Nb” condicionaba a las estructuraciones de estudio, a que solo las Vigas en dirección X fuesen Acarteladas. Y fue establecida tanto para las propuestas de sistemas Aporticados como para Duales.



**Figura III- 6:**  
*Configuración de Vigas Acarteladas -Nc*



La configuración declarada como “Nc” condicionaba a las estructuraciones de estudio, a que solo e intercaladamente algunas Vigas en dirección X fuesen Acarteladas. Y fue establecida tanto para las propuestas de sistemas Aporticados como para Duales.





5.2.4.4. Estructuraciones de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas Circularmente – Casos SACHiNx-R8

Tabla III- 9  
Estructuración de Sistemas SACHiNx-R8

Estructuración del Sistema Estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Circularmente - Caso SACHiNx-R8																	
Viga (dirección)	h <sub>min</sub> (m)	b (m)	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	N <sub>A</sub>	N <sub>B</sub>	N <sub>C</sub>	Columna (localización)	d (m)	l (m)	Losas (dirección)	Tipo de losa	Direccion de armado de viguetas	Espesor (m)
			h <sub>max</sub> (m) = 0.25*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.30*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.35*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.40*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.45*H <sub>planta</sub>	Para todas las vigas [h <sub>max</sub> (m)]	Para solo vigas en dirección X [h <sub>max</sub> (m)]	Para intercalamiento entre vigas en dirección X [h <sub>max</sub> (m)]							
2° → 8°: 1' - 1 / A	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	A-1	0.35	0.85	2° → 8°: 1 - 1' / A - C	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 1 - 2 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-2	0.85	0.35	2° → 8°: 1 - 1' / C - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 2 - 3 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-3	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 2 / A - C	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 3 - 5 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-5	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 2 / C - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 5 - 7 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-7	0.35	0.85	2° → 8°: 2 - 3 / A - C	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 7 - 8 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-8	0.85	0.35	2° → 8°: 2 - 3 / C - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 5 - 7 / B	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	B-5	0.35	0.85	2° → 8°: 3 - 5 / C - E	maciza	X-Y	0.15
2° → 8°: 7 - 8 / B	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	B-7	0.85	0.35	2° → 8°: 5 - 7 / A - B	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 1' - 1 / C	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	B-8	0.85	0.35	2° → 8°: 5 - 7 / B - D	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 1 - 2 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	C-1	0.35	0.85	2° → 8°: 6 - 7 / D - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 2 - 3 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	C-2	0.85	0.35	2° → 8°: 7 - 8 / A - B	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 3 - 5 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	C-3	0.95	0.40				
2° → 8°: 5 - 6 / D	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	D-5	0.35	0.85				
2° → 8°: 6 - 7 / D	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	D-6	0.85	0.35				
2° → 8°: 1' - 1 / E	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	D-7	0.85	0.35				
2° → 8°: 1 - 2 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-1	0.35	0.85				
2° → 8°: 2 - 3 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-2	0.85	0.35				
2° → 8°: 3 - 4 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-3	0.35	0.85				
2° → 8°: 4 - 6 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-4	0.35	0.85				
2° → 8°: 6 - 7 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-6	0.85	0.35				
2° → 8°: A - C / 1'	0.20	0.15	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	E-7	0.85	0.35				
2° → 8°: C - E / 1'	0.20	0.15	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20							
2° → 8°: A - C / 1	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: C - E / 1	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: A - C / 2	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: C - E / 2	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: A - C / 3	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: C - E / 3	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: A - B / 5	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.40							
2° → 8°: B - D / 5	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: D - E / 6	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: A - B / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: B - D / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: D - E / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: A - B / 8	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							



5.2.4.5. Estructuraciones de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas Elípticamente – Casos SAEHiNx-R8

Tabla III- 10

Estructuración de Sistemas SAEHiNx-R8

Estructuración del Sistema Estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Elípticamente - Caso SAEHiNx-R8																	
Viga (dirección)	h <sub>min</sub> (m)	b (m)	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	N <sub>A</sub>	N <sub>B</sub>	N <sub>C</sub>	Columna (localización)	d (m)	l (m)	Losas (dirección)	Tipo de losa	Dirección de armado de viguetas	Espesor (m)
			h <sub>max</sub> (m) = 0.25*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.30*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.35*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.40*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.45*H <sub>planta</sub>	Para todas las vigas [l <sub>max</sub> (m)]	Para solo vigas en dirección X [l <sub>max</sub> (m)]	Para intercalamiento entre vigas en dirección X [l <sub>max</sub> (m)]							
2° → 8°: 1' - 1 / A	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	A-1	0.35	0.85	2° → 8°: 1 - 1' / A - C	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 1 - 2 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-2	0.85	0.35	2° → 8°: 1 - 1' / C - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 2 - 3 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-3	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 2 / A - C	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 3 - 5 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-5	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 2 / C - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 5 - 7 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-7	0.35	0.85	2° → 8°: 2 - 3 / A - C	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 7 - 8 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-8	0.85	0.35	2° → 8°: 2 - 3 / C - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 5 - 7 / B	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	B-5	0.35	0.85	2° → 8°: 3 - 5 / C - E	maciza	X-Y	0.15
2° → 8°: 7 - 8 / B	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	B-7	0.85	0.35	2° → 8°: 5 - 7 / A - B	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 1' - 1 / C	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	B-8	0.85	0.35	2° → 8°: 5 - 7 / B - D	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 1 - 2 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	C-1	0.35	0.85	2° → 8°: 6 - 7 / D - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 2 - 3 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	C-2	0.85	0.35	2° → 8°: 7 - 8 / A - B	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 3 - 5 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	C-3	0.95	0.40				
2° → 8°: 5 - 6 / D	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	D-5	0.35	0.85				
2° → 8°: 6 - 7 / D	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	D-6	0.85	0.35				
2° → 8°: 1' - 1 / E	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	D-7	0.85	0.35				
2° → 8°: 1 - 2 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-1	0.35	0.85				
2° → 8°: 2 - 3 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-2	0.85	0.35				
2° → 8°: 3 - 4 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-3	0.35	0.85				
2° → 8°: 4 - 6 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-4	0.35	0.85				
2° → 8°: 6 - 7 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-6	0.85	0.35				
2° → 8°: A - C / 1'	0.20	0.15	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	E-7	0.85	0.35				
2° → 8°: C - E / 1'	0.20	0.15	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20							
2° → 8°: A - C / 1	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: C - E / 1	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: A - C / 2	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: C - E / 2	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: A - C / 3	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: C - E / 3	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: A - B / 5	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.40							
2° → 8°: B - D / 5	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: D - E / 6	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: A - B / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: B - D / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: D - E / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: A - B / 8	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							



5.2.4.6. Estructuraciones de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas Parabólicamente – Casos SAPHiNx-R8

Tabla III- 11

Estructuración de Sistemas SAPHiNx-R8

Estructuración del Sistema Estructural Aporticado con Vigas Acarteladas Parabólicamente - Caso SAPHiNx-R8																	
Viga (dirección)	h <sub>min</sub> (m)	b (m)	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	N <sub>A</sub>	N <sub>B</sub>	N <sub>C</sub>	Columna (localización)	d (m)	l (m)	Losas (dirección)	Tipo de losa	Dirección de armado de viguetas	Espesor (m)
			h <sub>max</sub> (m) = 0.25*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.30*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.35*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.40*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.45*H <sub>planta</sub>	Para todas las vigas [l <sub>max</sub> (m)]	Para solo vigas en dirección X [l <sub>max</sub> (m)]	Para intercalamiento entre vigas en dirección X [l <sub>max</sub> (m)]							
2° → 8°: 1' - 1 / A	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	A-1	0.35	0.85	2° → 8°: 1 - 1' / A - C	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 1 - 2 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-2	0.85	0.35	2° → 8°: 1 - 1' / C - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 2 - 3 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-3	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 2 / A - C	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 3 - 5 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-5	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 2 / C - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 5 - 7 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-7	0.35	0.85	2° → 8°: 2 - 3 / A - C	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 7 - 8 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-8	0.85	0.35	2° → 8°: 2 - 3 / C - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 5 - 7 / B	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	B-5	0.35	0.85	2° → 8°: 3 - 5 / C - E	maciza	X-Y	0.15
2° → 8°: 7 - 8 / B	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	B-7	0.85	0.35	2° → 8°: 5 - 7 / A - B	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 1' - 1 / C	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	B-8	0.85	0.35	2° → 8°: 5 - 7 / B - D	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 1 - 2 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	C-1	0.35	0.85	2° → 8°: 6 - 7 / D - E	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 2 - 3 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	C-2	0.85	0.35	2° → 8°: 7 - 8 / A - B	aligerada	X	0.20
2° → 8°: 3 - 5 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	C-3	0.95	0.40				
2° → 8°: 5 - 6 / D	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	D-5	0.35	0.85				
2° → 8°: 6 - 7 / D	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	D-6	0.85	0.35				
2° → 8°: 1' - 1 / E	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	D-7	0.85	0.35				
2° → 8°: 1 - 2 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-1	0.35	0.85				
2° → 8°: 2 - 3 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-2	0.85	0.35				
2° → 8°: 3 - 4 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-3	0.35	0.85				
2° → 8°: 4 - 6 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-4	0.35	0.85				
2° → 8°: 6 - 7 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-6	0.85	0.35				
2° → 8°: A - C / 1'	0.20	0.15	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	E-7	0.85	0.35				
2° → 8°: C - E / 1'	0.20	0.15	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20							
2° → 8°: A - C / 1	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: C - E / 1	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: A - C / 2	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: C - E / 2	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: A - C / 3	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: C - E / 3	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: A - B / 5	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.40							
2° → 8°: B - D / 5	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: D - E / 6	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: A - B / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: B - D / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							
2° → 8°: D - E / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35							
2° → 8°: A - B / 8	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5							



5.2.4.7. Estructuraciones de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas Circularmente – Casos SACHiNx-R7

Tabla III- 12

Estructuración de Sistemas SACHiNx-R7

Estructuración del Sistema Estructural Dual con Vigas Acarteladas Circularmente - Caso SACHiNx-R7																				
Viga (dirección)	h <sub>min</sub> (m)	b (m)	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	N <sub>A</sub>	N <sub>B</sub>	N <sub>C</sub>	Columna (localización)	d (m)	l (m)	Losas (dirección)	Tipo de losa	Dirección de armado de viguetas	Espesor (m)	Muro de corte (dirección)	d (m)	l (m)
			h <sub>max</sub> (m) = 0.25*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.30*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.35*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.40*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.45*H <sub>planta</sub>	Para todas las vigas [h <sub>max</sub> (m)]	Para solo vigas en dirección X [h <sub>max</sub> (m)]	Para intercalamiento entre vigas en dirección X [h <sub>max</sub> (m)]										
2° → 8°: 1' - 1 / A	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	A-1	0.35	0.85	2° → 8°: 1 - 1' / A - C	aligerada	X	0.20	(D'-3) - (D'-4)	0.25	1.875
2° → 8°: 1 - 2 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-3	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 1' / C - E	aligerada	X	0.20	D-3	1.70	0.25
2° → 8°: 2 - 3 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-5	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 2 / A - C	aligerada	X	0.20	D-4	1.70	0.25
2° → 8°: 3 - 5 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-7	0.35	0.85	2° → 8°: 1 - 2 / C - E	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 5 - 7 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-8	0.85	0.35	2° → 8°: 2 - 3 / A - C	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 7 - 8 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	B-7	0.85	0.35	2° → 8°: 2 - 3 / C - E	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 5 - 7 / B	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	B-8	0.85	0.35	2° → 8°: 3 - 5 / C - E	maciza	X-Y	0.15			
2° → 8°: 7 - 8 / B	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	C-1	0.35	0.85	2° → 8°: 5 - 7 / A - B	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 1' - 1 / C	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	C-3	0.95	0.40	2° → 8°: 5 - 7 / B - D	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 1 - 2 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	D-5	0.35	0.85	2° → 8°: 6 - 7 / D - E	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 2 - 3 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	D-7	0.85	0.35	2° → 8°: 7 - 8 / A - B	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 3 - 5 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-1	0.35	0.85							
2° → 8°: 5 - 6 / D	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-3	0.35	0.85							
2° → 8°: 6 - 7 / D	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-4	0.35	0.85							
2° → 8°: 1' - 1 / E	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	E-7	0.85	0.35							
2° → 8°: 1 - 2 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: 2 - 3 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: 3 - 4 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: 4 - 6 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: 6 - 7 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: A - C / 1'	0.20	0.15	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20										
2° → 8°: C - E / 1'	0.20	0.15	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20										
2° → 8°: A - C / 1	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: C - E / 1	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: A - C / 2	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: C - E / 2	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: A - C / 3	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: C - E / 3	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: A - B / 5	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: B - D / 5	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: D - E / 6	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: A - B / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: B - D / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: D - E / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: D - E / 8	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: A - B / 8	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										



5.2.4.8. Estructuraciones de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas Elípticamente – Casos SAEH<sub>i</sub>N<sub>x</sub>-R7

Tabla III- 13

Estructuración de Sistemas SAEH<sub>i</sub>N<sub>x</sub>-R7

Estructuración del Sistema Estructural Dual con Vigas Acarteladas Elípticamente - Caso SAEH <sub>i</sub> N <sub>x</sub> -R7																				
Viga (dirección)	h <sub>min</sub> (m)	b (m)	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	N <sub>A</sub>	N <sub>B</sub>	N <sub>C</sub>	Columna (localización)	d (m)	l (m)	Losa (dirección)	Tipo de losa	Dirección de armado de viguetas	Espesor (m)	Muro de corte (dirección)	d (m)	l (m)
			h <sub>max</sub> (m) = 0.25*Hplanta	h <sub>max</sub> (m) = 0.30*Hplanta	h <sub>max</sub> (m) = 0.35*Hplanta	h <sub>max</sub> (m) = 0.40*Hplanta	h <sub>max</sub> (m) = 0.45*Hplanta	Para todas las vigas [h <sub>max</sub> (m)]	Para solo vigas en dirección X [h <sub>max</sub> (m)]	Para intercalamiento entre vigas en dirección X [h <sub>max</sub> (m)]										
2° → 8°: 1' - 1 / A	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	A-1	0.35	0.85	2° → 8°: 1 - 1' / A - C	aligerada	X	0.20	(D'-3) - (D'-4)	0.25	1.875
2° → 8°: 1 - 2 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-3	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 1' / C - E	aligerada	X	0.20	D-3	1.70	0.25
2° → 8°: 2 - 3 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-5	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 2 / A - C	aligerada	X	0.20	D-4	1.70	0.25
2° → 8°: 3 - 5 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-7	0.35	0.85	2° → 8°: 1 - 2 / C - E	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 5 - 7 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-8	0.85	0.35	2° → 8°: 2 - 3 / A - C	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 7 - 8 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	B-7	0.85	0.35	2° → 8°: 2 - 3 / C - E	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 5 - 7 / B	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	B-8	0.85	0.35	2° → 8°: 3 - 5 / C - E	maciza	X-Y	0.15			
2° → 8°: 7 - 8 / B	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	C-1	0.35	0.85	2° → 8°: 5 - 7 / A - B	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 1' - 1 / C	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	C-3	0.95	0.40	2° → 8°: 5 - 7 / B - D	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 1 - 2 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	D-5	0.35	0.85	2° → 8°: 6 - 7 / D - E	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 2 - 3 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	D-7	0.85	0.35	2° → 8°: 7 - 8 / A - B	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 3 - 5 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-1	0.35	0.85							
2° → 8°: 5 - 6 / D	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-3	0.35	0.85							
2° → 8°: 6 - 7 / D	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-4	0.35	0.85							
2° → 8°: 1' - 1 / E	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	E-7	0.85	0.35							
2° → 8°: 1 - 2 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: 2 - 3 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: 3 - 4 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: 4 - 6 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: 6 - 7 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: A - C / 1'	0.20	0.15	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20										
2° → 8°: C - E / 1'	0.20	0.15	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20										
2° → 8°: A - C / 1	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: C - E / 1	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: A - C / 2	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: C - E / 2	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: A - C / 3	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: C - E / 3	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: A - B / 5	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: B - D / 5	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: D - E / 6	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: A - B / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: B - D / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: D - E / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: A - B / 8	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										





5.2.4.9. Estructuraciones de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas Parabólicamente – Casos SAPHiN<sub>x</sub>-R7

Tabla III- 14  
Estructuración de Sistemas SAPHiN<sub>x</sub>-R7

Estructuración del Sistema Estructural Dual con Vigas Acarteladas Parabólicamente - Caso SAPHiN <sub>x</sub> -R7																				
Viga (dirección)	h <sub>min</sub> (m)	b (m)	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>	H <sub>5</sub>	NA	NB	Nc	Columna (localización)	d (m)	l (m)	Losa (dirección)	Tipo de losa	Dirección de armado de viguetas	Espesor (m)	Muro de corte (dirección)	d (m)	l (m)
			h <sub>max</sub> (m) = 0.25*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.30*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.35*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.40*H <sub>planta</sub>	h <sub>max</sub> (m) = 0.45*H <sub>planta</sub>	Para todas las vigas [h <sub>max</sub> (m)]	Para solo vigas en dirección X [h <sub>max</sub> (m)]	Para intercalamiento entre vigas en dirección X [h <sub>max</sub> (m)]										
2° → 8°: 1 - 1 / A	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	A-1	0.35	0.85	2° → 8°: 1 - 1' / A - C	aligerada	X	0.20	(D-3) - (D'-4)	0.25	1.875
2° → 8°: 1 - 2 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-3	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 1' / C - E	aligerada	X	0.20	D-3	1.70	0.25
2° → 8°: 2 - 3 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-5	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 2 / A - C	aligerada	X	0.20	D-4	1.70	0.25
2° → 8°: 3 - 5 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-7	0.35	0.85	2° → 8°: 1 - 2 / C - E	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 5 - 7 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	A-8	0.85	0.35	2° → 8°: 2 - 3 / A - C	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 7 - 8 / A	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	B-7	0.85	0.35	2° → 8°: 2 - 3 / C - E	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 5 - 7 / B	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	B-8	0.85	0.35	2° → 8°: 3 - 5 / C - E	maciza	X-Y	0.15			
2° → 8°: 7 - 8 / B	0.50	0.30	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.50	0.30	C-1	0.35	0.85	2° → 8°: 5 - 7 / A - B	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 1 - 1 / C	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	C-3	0.95	0.40	2° → 8°: 5 - 7 / B - D	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 1 - 2 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	D-5	0.35	0.85	2° → 8°: 6 - 7 / D - E	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 2 - 3 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	D-7	0.85	0.35	2° → 8°: 7 - 8 / A - B	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 3 - 5 / C	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-1	0.35	0.85							
2° → 8°: 5 - 6 / D	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-3	0.35	0.85							
2° → 8°: 6 - 7 / D	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25	E-4	0.35	0.85							
2° → 8°: 1 - 1 / E	0.20	0.20	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20	E-7	0.85	0.35							
2° → 8°: 1 - 2 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: 2 - 3 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: 3 - 4 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: 4 - 6 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: 6 - 7 / E	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	0.40	0.25										
2° → 8°: A - C / 1'	0.20	0.15	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20										
2° → 8°: C - E / 1'	0.20	0.15	-	-	-	-	-	0.20	0.20	0.20										
2° → 8°: A - C / 1	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: C - E / 1	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35										
2° → 8°: A - C / 2	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35										
2° → 8°: C - E / 2	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: A - C / 3	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: C - E / 3	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35										
2° → 8°: A - B / 5	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.40										
2° → 8°: B - D / 5	0.40	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: D - E / 6	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: A - B / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35										
2° → 8°: B - D / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										
2° → 8°: D - E / 7	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	0.35										
2° → 8°: A - B / 8	0.35	0.25	0.6375	0.7650	0.8925	1.0200	1.1475	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5	H1/H2/H3/H4/H5										



**5.2.4.10. Estructuración del Sistema Estructural Dual – Caso SED**

**Tabla III- 15**

*Estructuración de Sistema Dual*

Estructuración del Sistema Estructural Dual - Caso SED												
Viga (dirección)	h (m)	b (m)	Columna (localización)	d (m)	l (m)	Losa (dirección)	Tipo de losa	Dirección de armado de viguetas	Espesor (m)	Muro de corte (dirección)	d (m)	l (m)
2° → 8°: 1 - 1 / A	0.20	0.20	A-1	0.35	0.85	2° → 8°: 1 - 1' / A - C	aligerada	X	0.20	A-2	1.675	0.25
2° → 8°: 1 - 2 / A	0.50	0.30	A-3	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 1' / C - E	aligerada	X	0.20	B-5	0.30	2.000
2° → 8°: 2 - 3 / A	0.50	0.30	A-5	0.95	0.40	2° → 8°: 1 - 2 / A - C	aligerada	X	0.20	C-2	1.675	0.25
2° → 8°: 3 - 5 / A	0.50	0.30	A-7	0.35	0.85	2° → 8°: 1 - 2 / C - E	aligerada	X	0.20	(D-6) - (E-6)	2.650	0.35
2° → 8°: 5 - 7 / A	0.50	0.30	A-8	0.85	0.35	2° → 8°: 2 - 3 / A - C	aligerada	X	0.20	E-2	1.350	0.25
2° → 8°: 7 - 8 / A	0.50	0.30	B-7	0.85	0.35	2° → 8°: 2 - 3 / C - E	aligerada	X	0.20	(D-3) - (D-4)	0.25	1.875
2° → 8°: 5 - 7 / B	0.50	0.30	B-8	0.85	0.35	2° → 8°: 3 - 5 / C - E	maciza	X-Y	0.15	D-3	1.70	0.25
2° → 8°: 7 - 8 / B	0.50	0.30	C-1	0.35	0.85	2° → 8°: 5 - 7 / A - B	aligerada	X	0.20	D-4	1.70	0.25
2° → 8°: 1 - 1 / C	0.20	0.20	C-3	0.95	0.40	2° → 8°: 5 - 7 / B - D	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 1 - 2 / C	0.40	0.25	D-5	0.35	0.85	2° → 8°: 6 - 7 / D - E	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 2 - 3 / C	0.40	0.25	D-7	0.85	0.35	2° → 8°: 7 - 8 / A - B	aligerada	X	0.20			
2° → 8°: 3 - 5 / C	0.40	0.25	E-1	0.35	0.85							
2° → 8°: 5 - 6 / D	0.40	0.25	E-3	0.35	0.85							
2° → 8°: 6 - 7 / D	0.40	0.25	E-4	0.35	0.85							
2° → 8°: 1 - 1 / E	0.20	0.20	E-7	0.85	0.35							
2° → 8°: 1 - 2 / E	0.40	0.25										
2° → 8°: 2 - 3 / E	0.40	0.25										
2° → 8°: 3 - 4 / E	0.40	0.25										
2° → 8°: 4 - 6 / E	0.40	0.25										
2° → 8°: 6 - 7 / E	0.40	0.25										
2° → 8°: A - C / 1'	0.20	0.15										
2° → 8°: C - E / 1'	0.20	0.15										
2° → 8°: A - C / 1	0.35	0.25										
2° → 8°: C - E / 1	0.35	0.25										
2° → 8°: A - C / 2	0.35	0.25										
2° → 8°: C - E / 2	0.35	0.25										
2° → 8°: A - C / 3	0.35	0.25										
2° → 8°: C - E / 3	0.35	0.25										
2° → 8°: A - B / 5	0.40	0.25										
2° → 8°: B - D / 5	0.40	0.25										
2° → 8°: D - E / 6	0.35	0.25										
2° → 8°: A - B / 7	0.35	0.25										
2° → 8°: B - D / 7	0.35	0.25										
2° → 8°: D - E / 7	0.35	0.25										
2° → 8°: A - B / 8	0.35	0.25										



## 6. Procedimientos de Análisis de datos

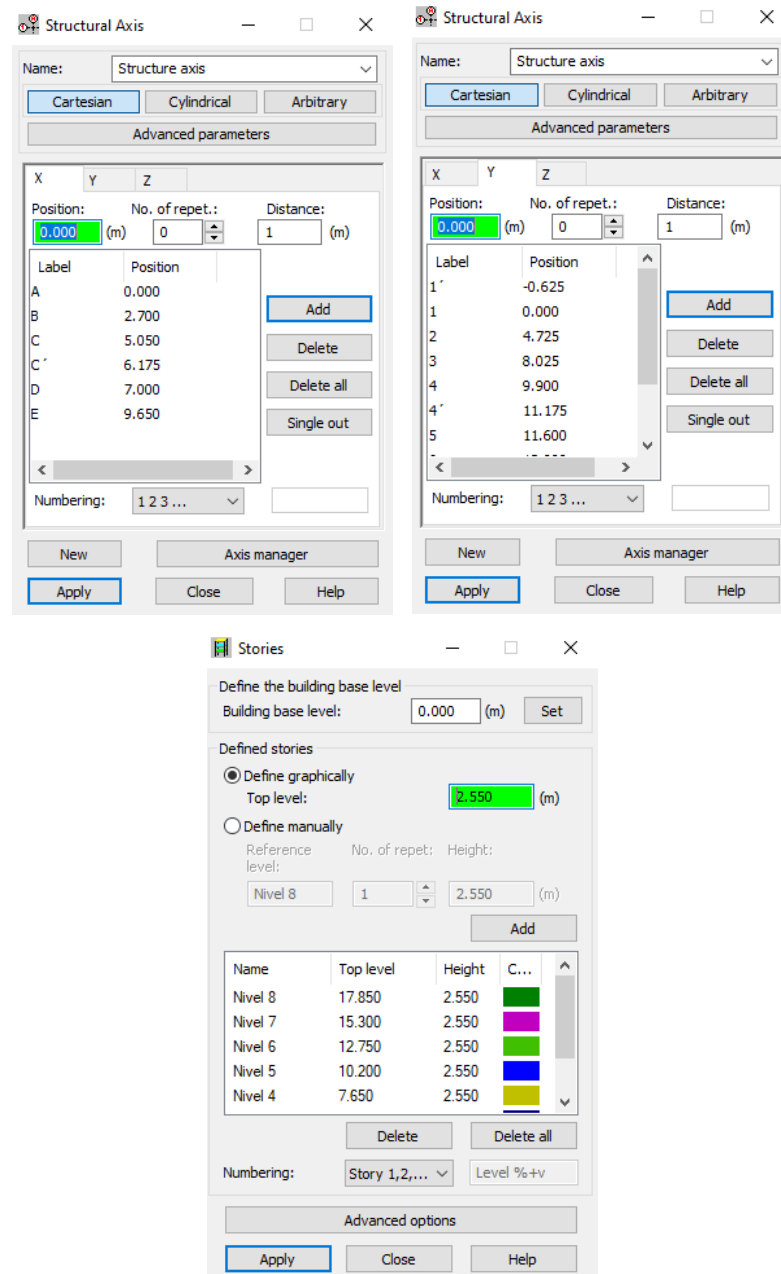
### 6.1. Modelamiento estructural

#### 6.1.1. Trazo de ejes y niveles estructurales

Primeramente, se procedió a transcribir los ejes y niveles estructurales de proyecto en el módulo de modelamiento asistido de edificios del software de cálculo estructural.

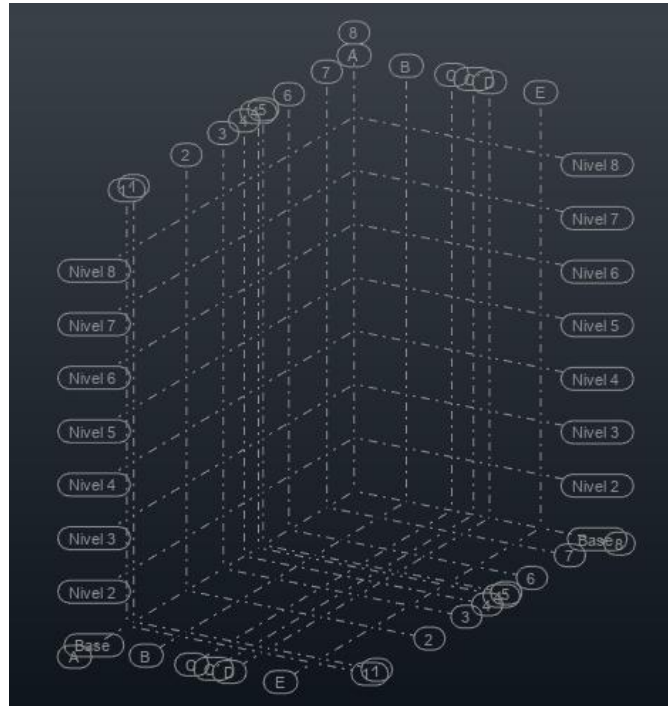
**Figura III- 7**

*Trazo de ejes y niveles en ARSAP 2022*





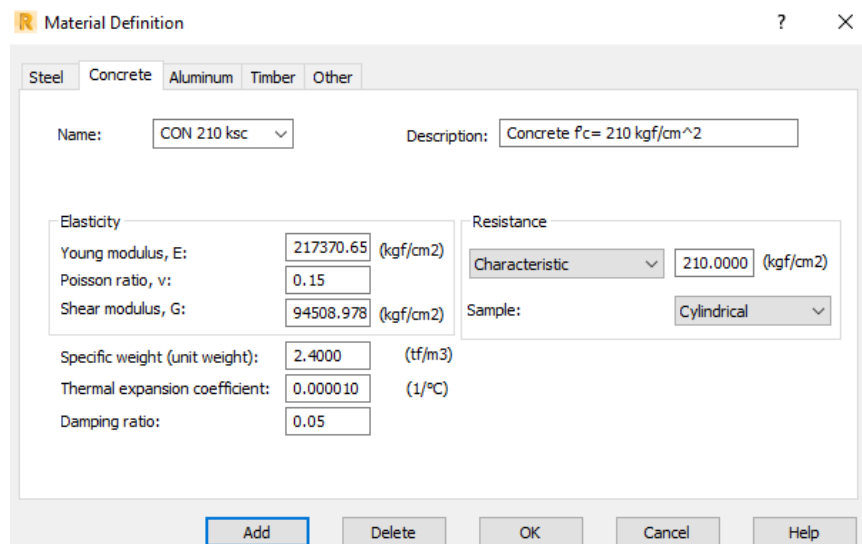
**Figura III- 8**  
*Trazo de ejes y niveles establecidos*



### 6.1.2. Definición de propiedades del material

Las propiedades mecánicas recolectadas del concreto de proyecto y para el modelamiento de todos los casos de esta investigación fueron ingresadas en la biblioteca de materiales del software, para ser etiquetado como CON 210 ksc.

**Figura III- 9**  
*Definición de propiedades del concreto*

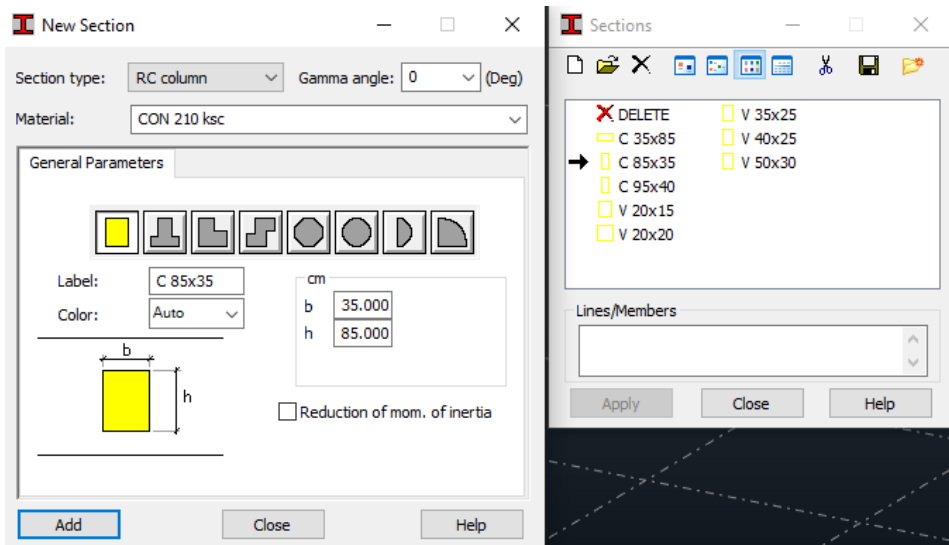




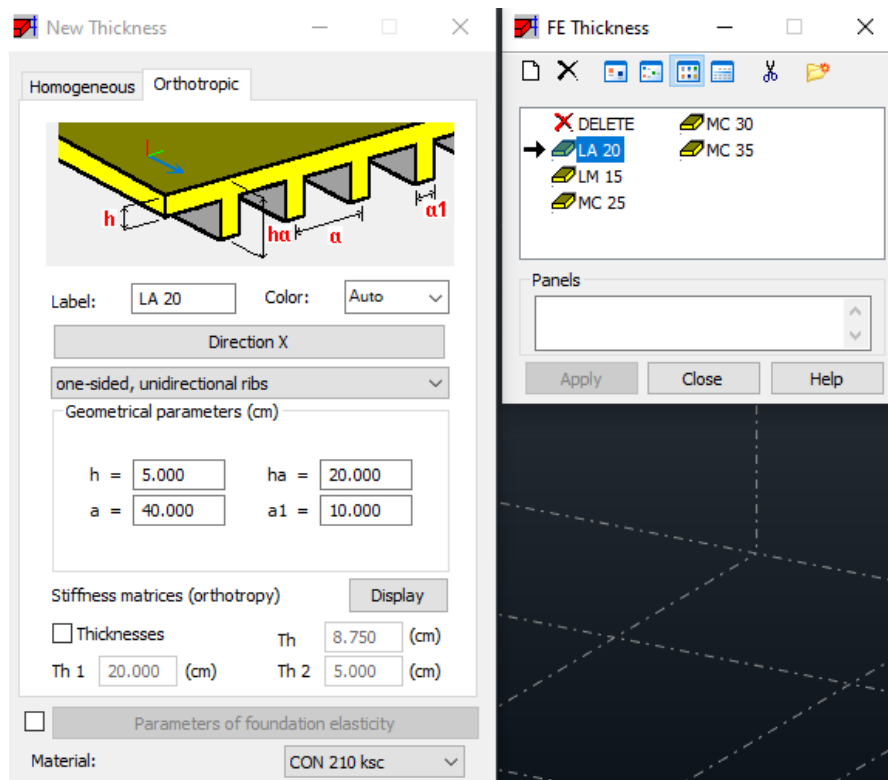
### 6.1.3. Definición de geometría de secciones y espesores

Todas las secciones de los elementos tipo “barra”, así como los espesores homogéneos u ortotrópicos de los elementos tipo “panel” (incluyéndose las Vigas Acarteladas) de todas las estructuraciones para los casos de estudio fueron ingresados.

**Figura III- 10**  
*Definición de secciones de elementos tipo barra*



**Figura III- 11**  
*Definición de espesores de elementos tipo panel*



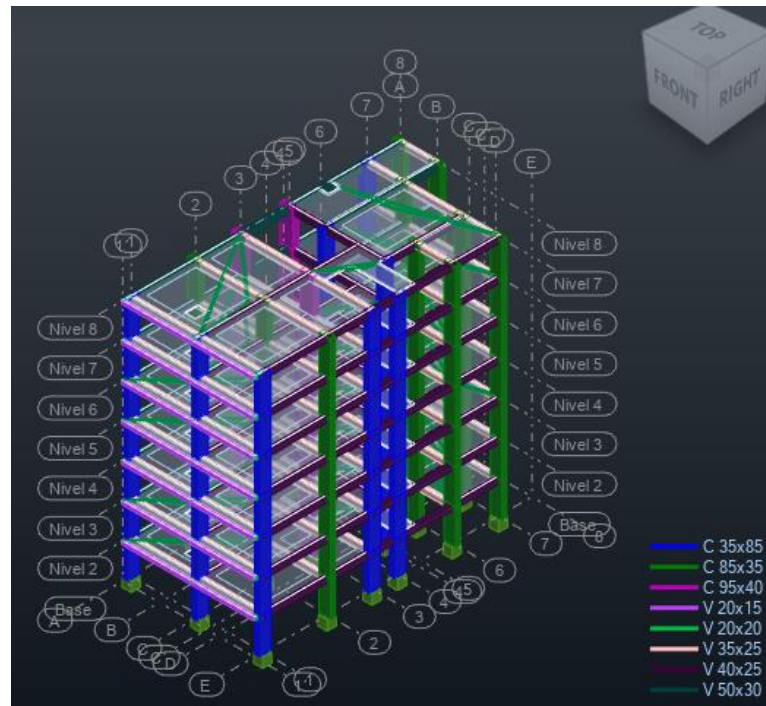


#### 6.1.4. Idealización de modelos analíticos para sistemas estructurales

Los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales fueron dibujados únicamente con la asistencia de la plataforma de modelamiento tridimensional de ARSAP 2022.

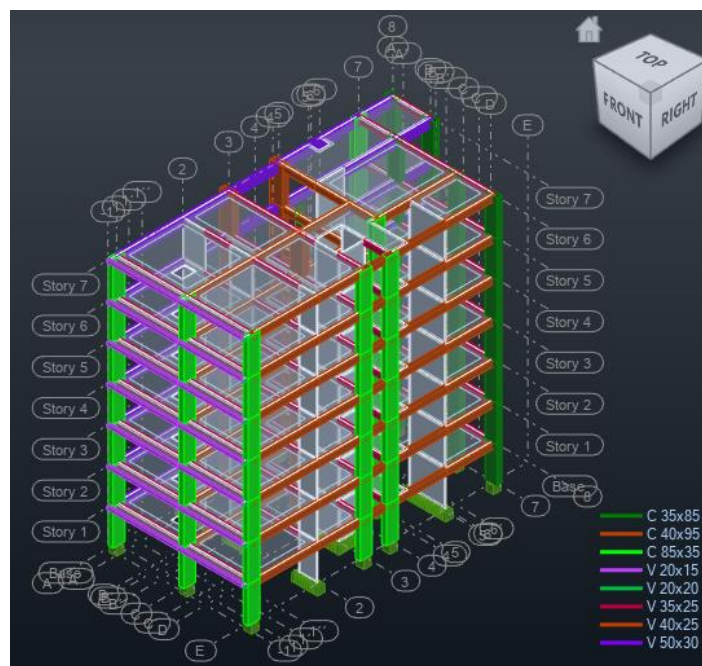
**Figura III- 12**

*Idealización analítica del sistema SEA en ARSAP 2022*



**Figura III- 13**

*Idealización analítica del sistema SED en ARSAP 2022*

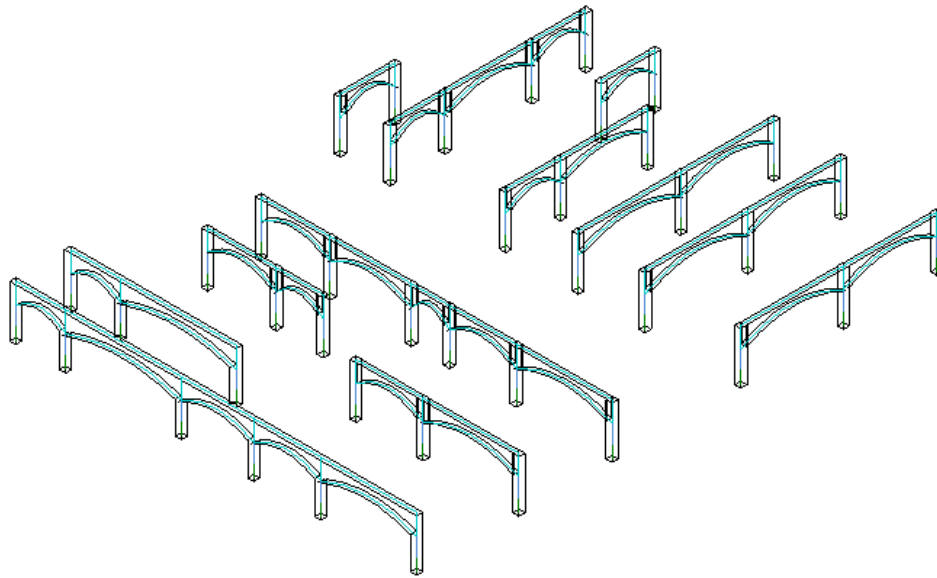




Sin embargo, para todos los casos de sistemas estructurales con la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica, fue necesario la co-asistencia del software de modelamiento de ingeniería “Revit 2022” para así idealizar de manera más precisa solo la geometría particular de estos elementos, y luego exportar los sistemas construidos a ARSAP 2022 mediante las opciones de integración directa que estos programas facilitan dentro sus ventajas colaborativas.

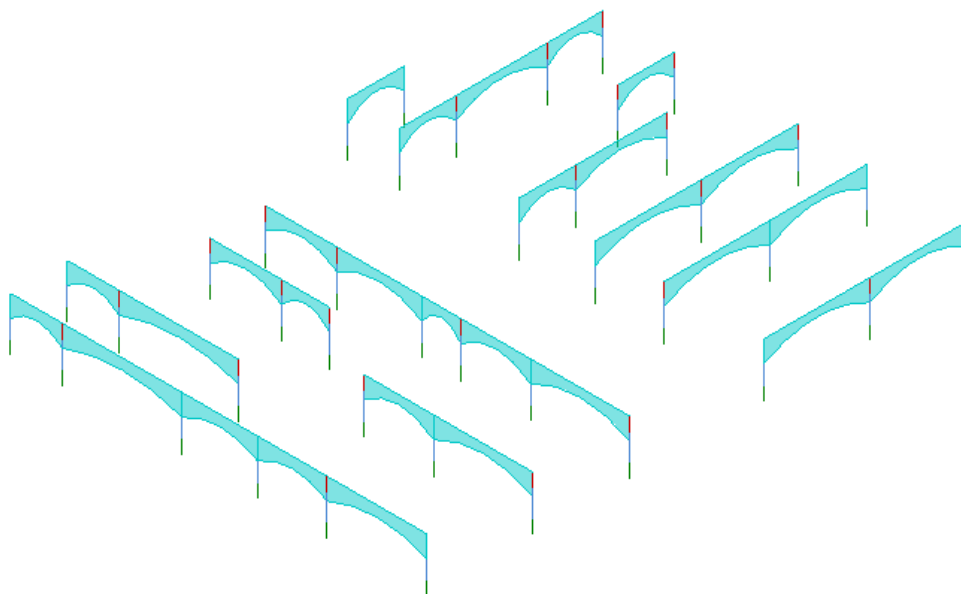
**Figura III- 14**

*Dibujo de Sistemas Estructurales con Vigas Acarteladas en Revit 2022*



**Figura III- 15**

*Idealización analítica de elementos estructurales en Revit 2022*

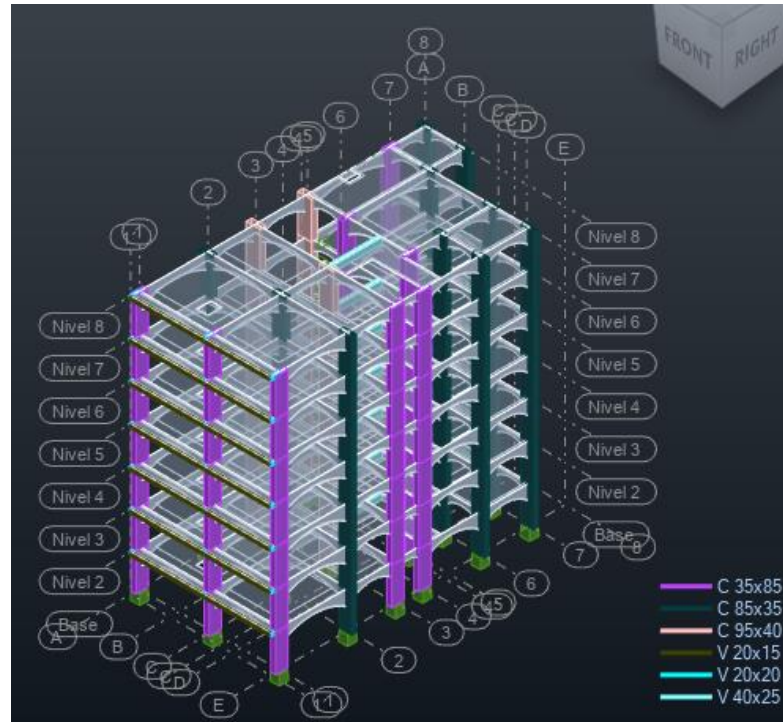




Seguidamente, se pasó a completar y compatibilizar el modelamiento para los demás niveles y elementos estructurales en ARSAP 2022, luego que los pórticos basales fueran exportados de Revit 2022.

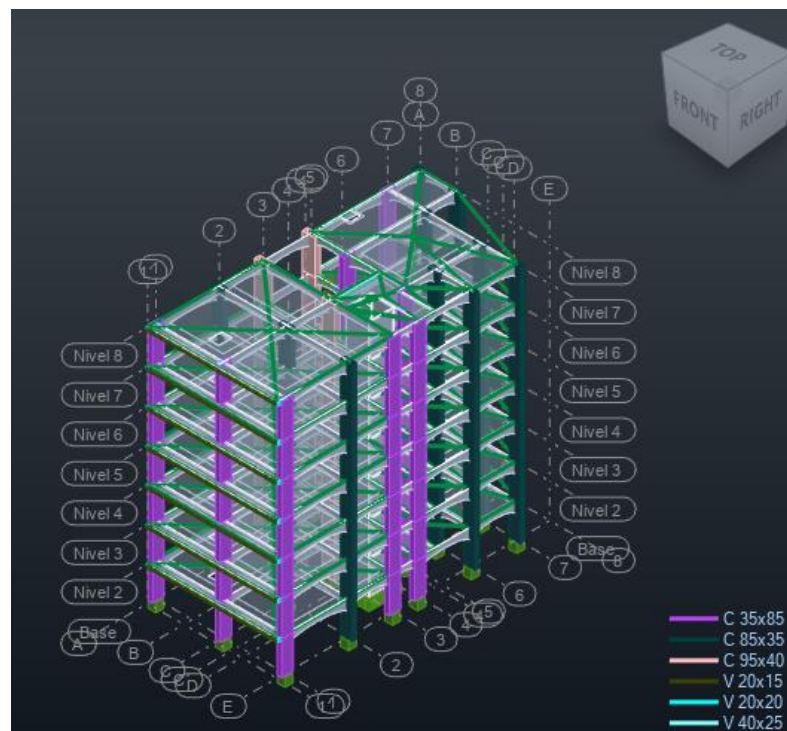
**Figura III- 16**

*Idealización analítica de sistemas Aportricados SAC/SEA/SAP en ARSAP 2022*



**Figura III- 17**

*Idealización analítica de sistemas Duales SAC/SEA/SAP en ARSAP 2022*



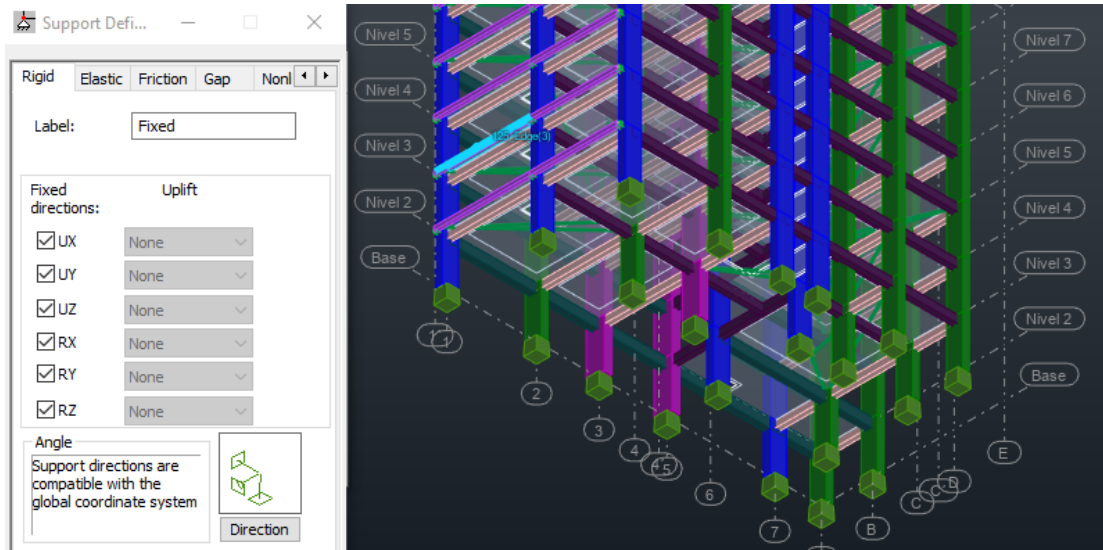


### 6.1.5. Asignación de condiciones de contorno

Seguidamente, los extremos inferiores de los elementos verticales de las idealizaciones fueron idealizados como empotrados hacia el terreno restringiéndose así todos los grados de libertad traslacional y rotacional.

**Figura III- 18**

*Asignación de apoyos empotrados en ARSAP 2022*



## 6.2. Análisis estructural

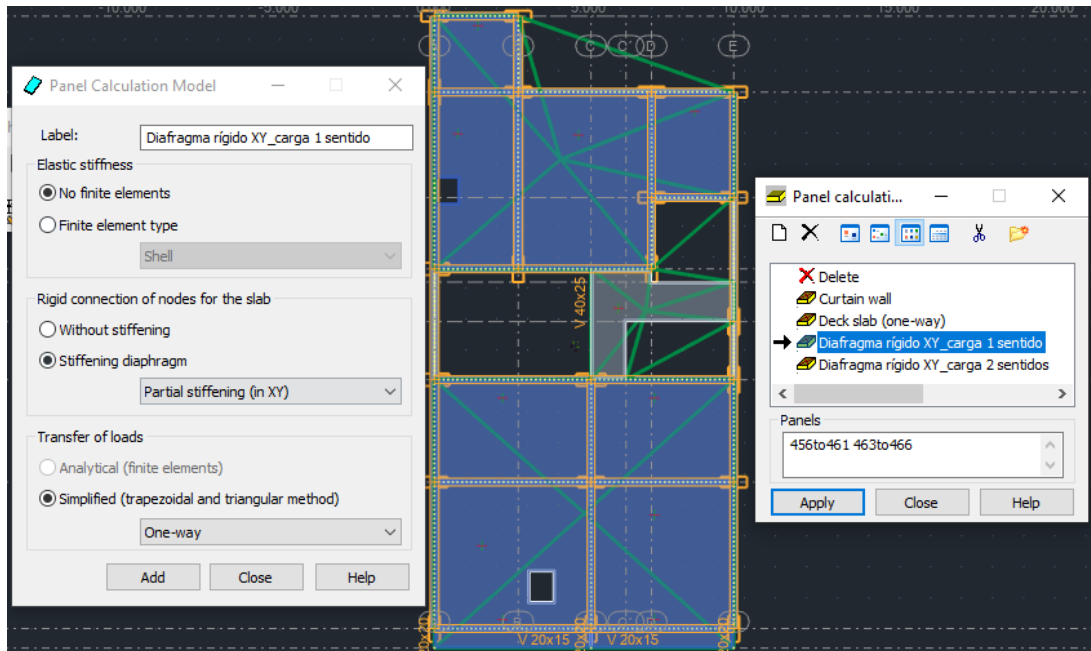
### 6.2.1. Asignación de modelos de cálculo

Al completar el dibujo de todos los sistemas estructurales, se pasó a configurar los modelos de cálculo para los elementos tipo panel de losas donde se estipuló que estas no serían analizadas mediante elementos finitos y su comportamiento dinámico debía obedecer al de un diafragma rigidizado en los ejes X e Y. Además de que dependiendo si era una losa aligerada o maciza la distribución de carga sería en uno o dos sentidos, respectivamente.



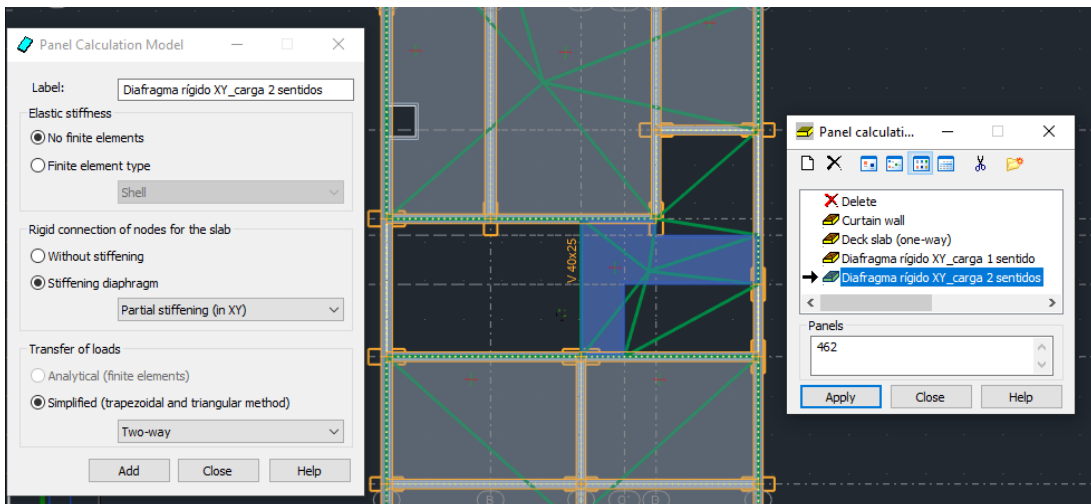
**Figura III- 19**

*Definición y asignación de diafragmas semirrígidos con distribución de carga unidireccional en losas aligeradas*



**Figura III- 20**

*Definición y asignación de diafragmas semirrígidos con distribución de carga bidireccional en losas macizas*



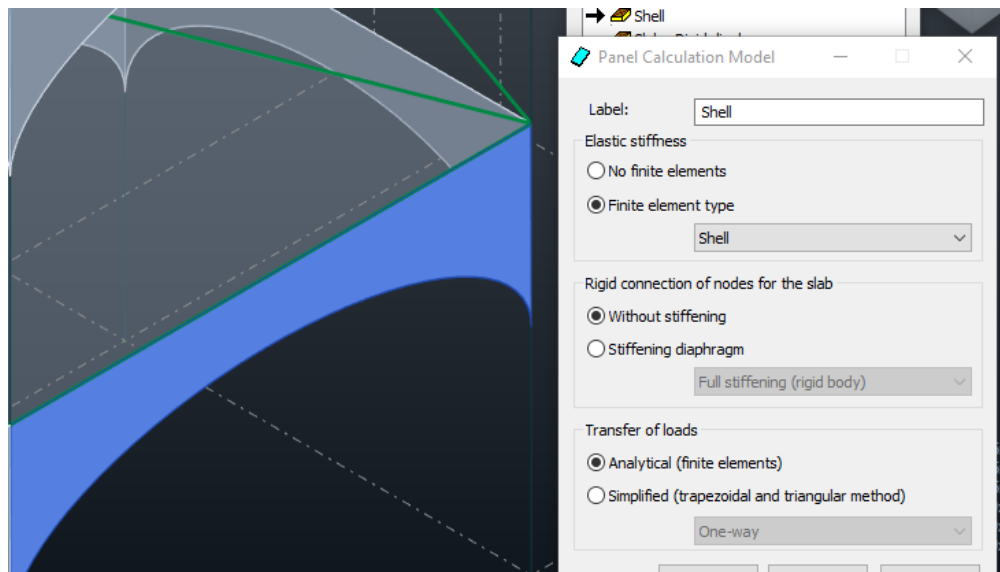
Luego para los elementos tipo panel de las Vigas Acarteladas y muros de corte el modelo de cálculo implementado paso a seleccionarse para ser evaluado en elementos finitos tipo *shell* sin alguna rigidización particular y la tranferencia de cargas sería de acuerdo al análisis posterior, es decir mediante el cálculo.





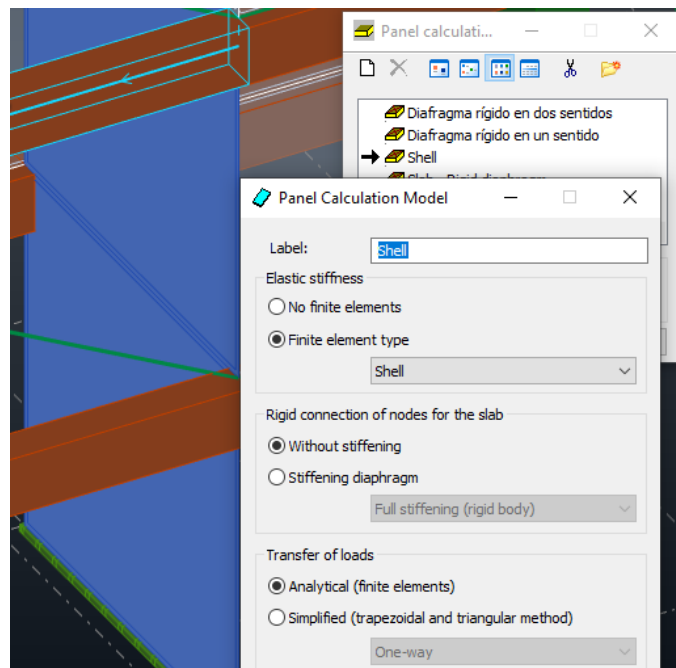
**Figura III- 21**

*Definición y asignación de modelo de cálculo "shell" en Vigas Acarteladas*



**Figura III- 22**

*Definición y asignación de modelo de cálculo "shell" en muros estructurales*



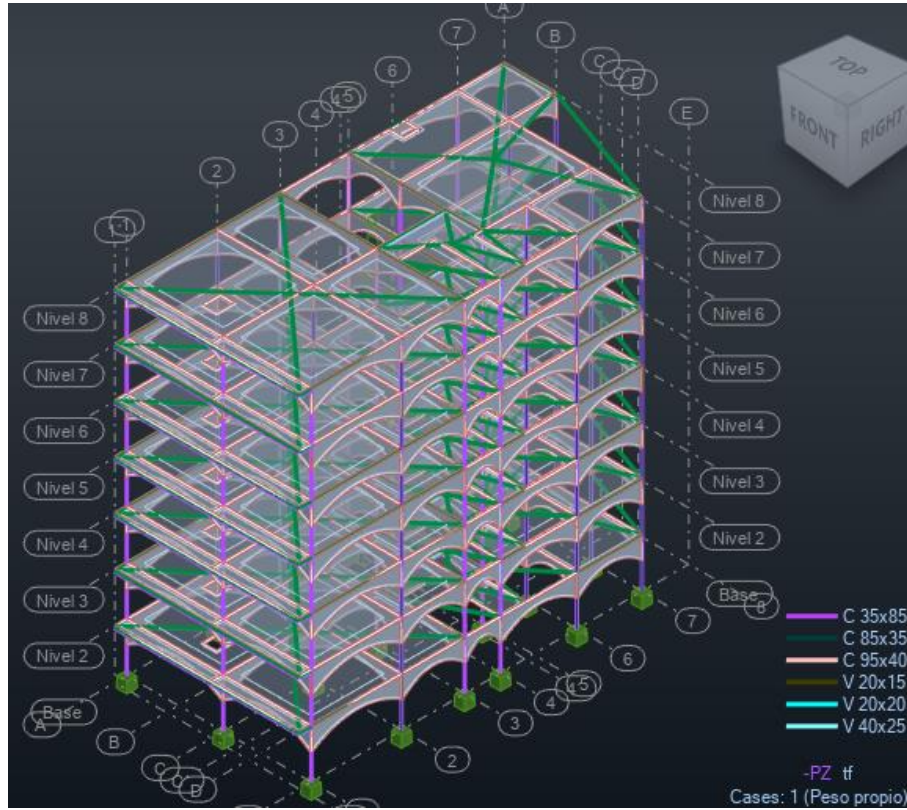
### 6.2.2. Aplicación de cargas estáticas

Seguidamente de haber configurado los modelos de cálculo para la distribución de cargas, se pasó a asignar los patrones de Peso Propio (SW), Carga Muerta (DL) y Carga Viva (LL) a los modelos estructurales donde se ingresaron las cargas lineal y superficialmente distribuidas sobre vigas y losas, respectivamente y de todas las plantas.



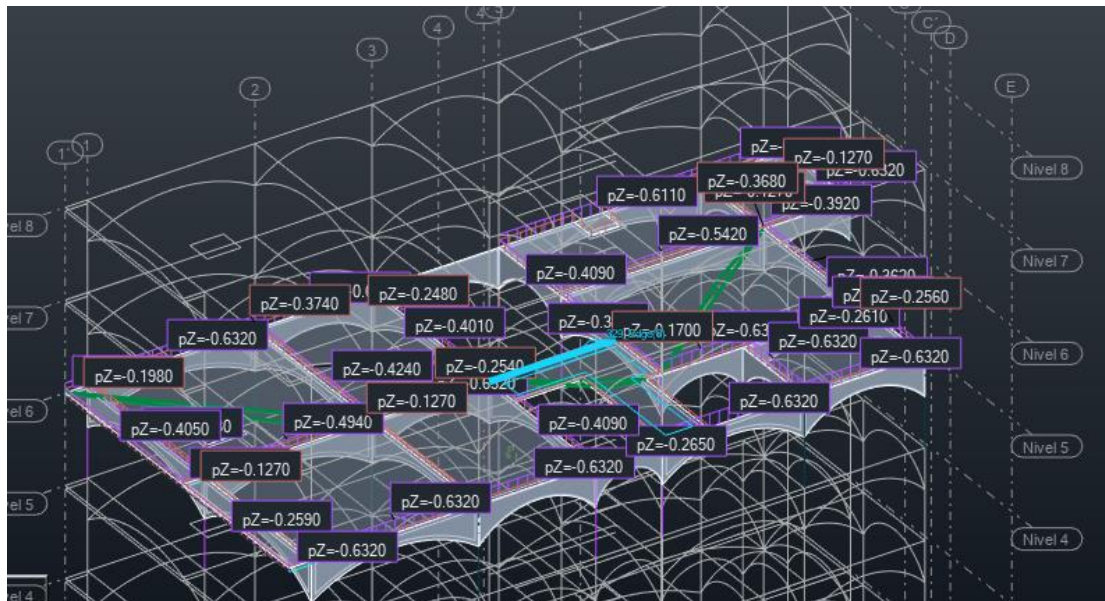
**Figura III- 23**

Asignación de caso de carga "Peso propio" en ARSAP 2022



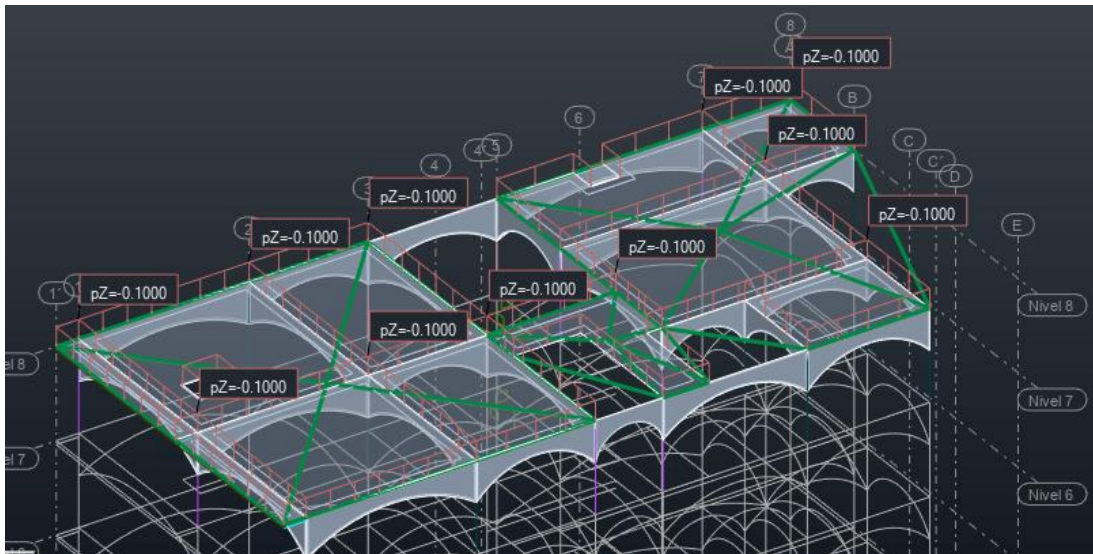
**Figura III- 24**

Asignación de caso de carga "Carga muerta" en ARSAP 2022



**Figura III- 25**

*Asignación de caso de carga "Carga viva" en ARSAP 2022*

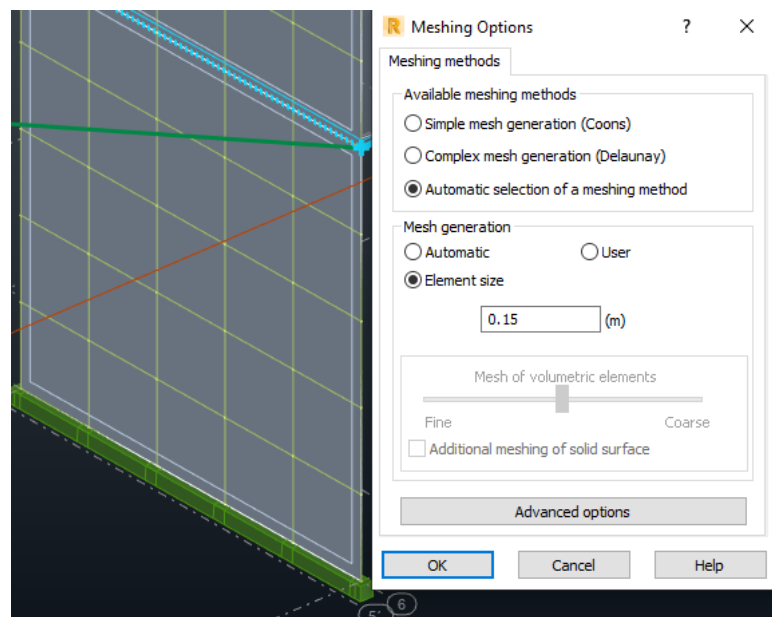


### 6.2.3. Discretización de modelos analíticos

Este procedimiento es el referido al mallado donde genéricamente fue seleccionado un mallado automático sin un método específico, pero con un tamaño máximo de elemento de 15 cm, tanto para muros estructurales como para las Vigas Acarteladas.

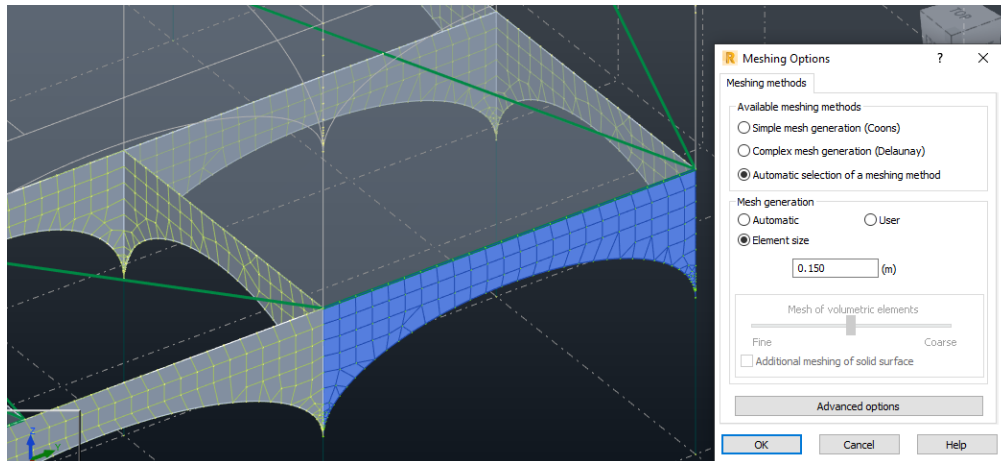
**Figura III- 26**

*Mallado MEF de muros estructurales en ARSAP 2022*





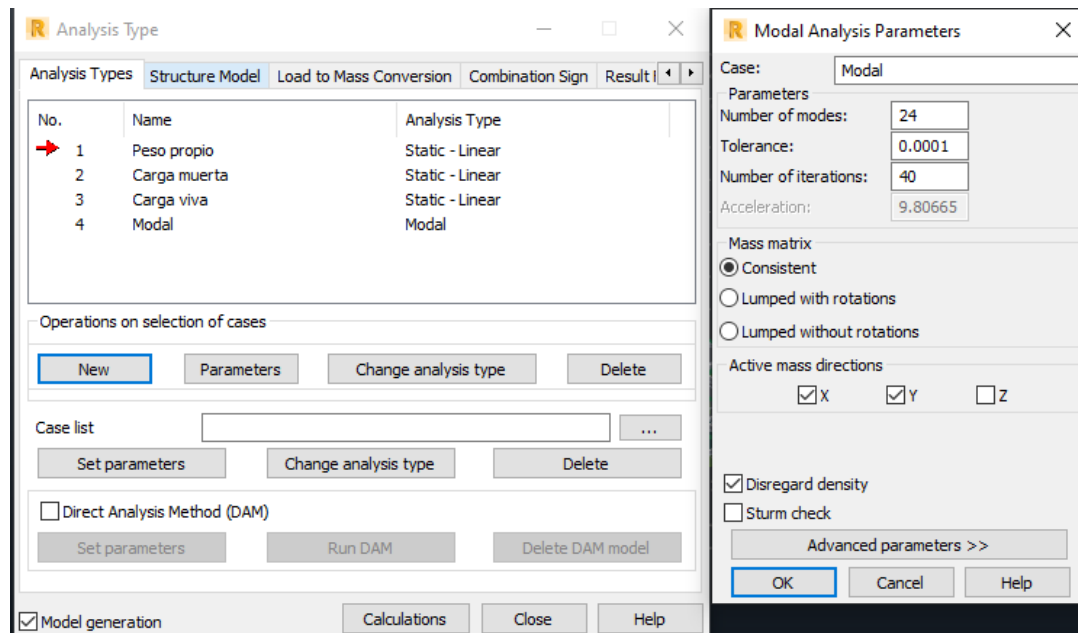
**Figura III- 27**  
*Mallado MEF de Vigas Acarteladas en ARSAP 2022*



#### 6.2.4. Definición de análisis estructural modal

Definidos los análisis estáticos y establecidos automáticamente como lineales, se pasó a establecer el análisis modal configurándose en 24 modos, para una matriz de masa consistente, analizándose en las direcciones de vibración X e Y.

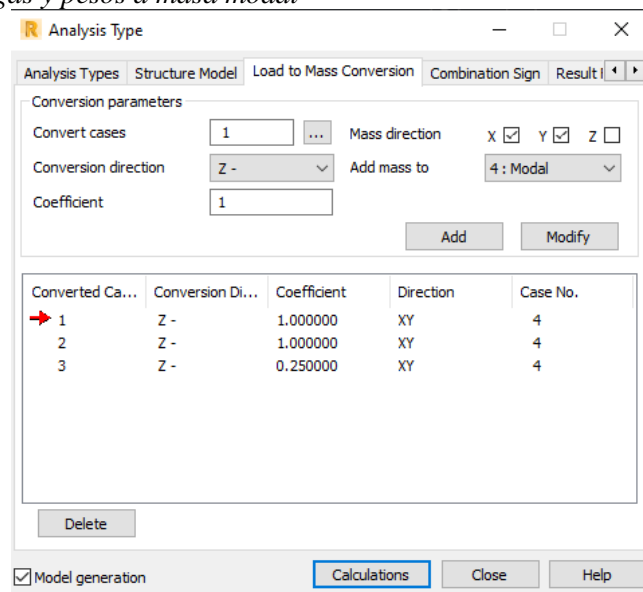
**Figura III- 28**  
*Parametrización del análisis estructural tipo Modal*



Luego, las cargas asignadas sobre todo el modelo estructural fueron designadas a convertirse en masas dentro del análisis modal completamente (x1.00) para los patrones de carga SW y DL, sin embargo, la carga viva es multiplicada por 0.25 de acuerdo al artículo N°26 de la norma técnica E.030.



**Figura III- 29**  
*Conversión de cargas y pesos a masa modal*



### 6.2.5. Asignación de espectros sísmicos preliminares

Seguidamente se procedió a confeccionar los espectros sísmicos preliminares de pseudo-aceleración según el artículo N°29.2 de la norma E.030 para lo cual se recurrió a extraer valores (según la revisión técnica de proyecto) para los parámetros presentados en los artículos N°10.2, N°12, N°13, N°14, N°15 y siendo estipulados en las tablas N°3, N°4 y N°5 de la misma norma técnica, ingresándolos en los preanálisis modales espectrales de los modelos estructurales de los casos SEA y SED, con la finalidad de confirmar los sistemas estructurales, verificar las irregularidades estructurales y consecuentemente amplificar los espectros sísmicos.

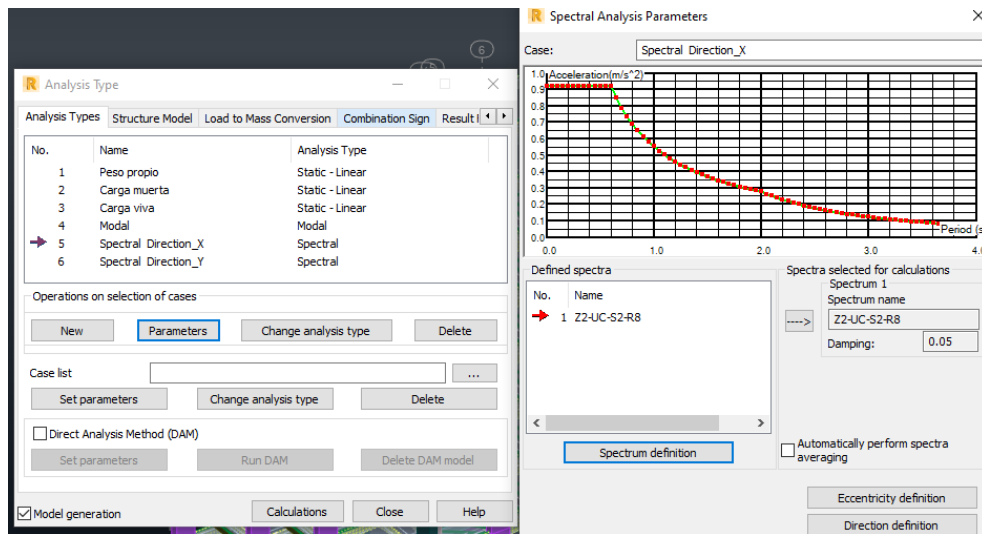
**Tabla III- 16**  
*Parámetros de espectro de diseño preliminar para sistemas Aporticados*

Espectro sísmico de diseño preliminar - Caso SEA			
Parámetro	Nomenclatura	Condición	Factor
Factor de zona	Z	Zona 2 - Z2	0.25
Factor de uso	U	Uso de vivienda - UC	1.00
Factor de suelo	S	Suelos intermedios - S2	1.20
Factor de reducción básico	R0	Sistema estructural Aporticado	8.00
Factor de irregularidad de altura	Ia	Regular	1.00
Factor de irregularidad de planta	Ip	Regular	1.00
	TP (s)	Período TP	0.60
	TL (s)	Período TL	2.00
	g (m/s <sup>2</sup> )	aceleración de gravedad	9.80665



**Figura III- 30**

*Asignación de espectro preliminar para sistemas Acartelados en ARSAP 2022*



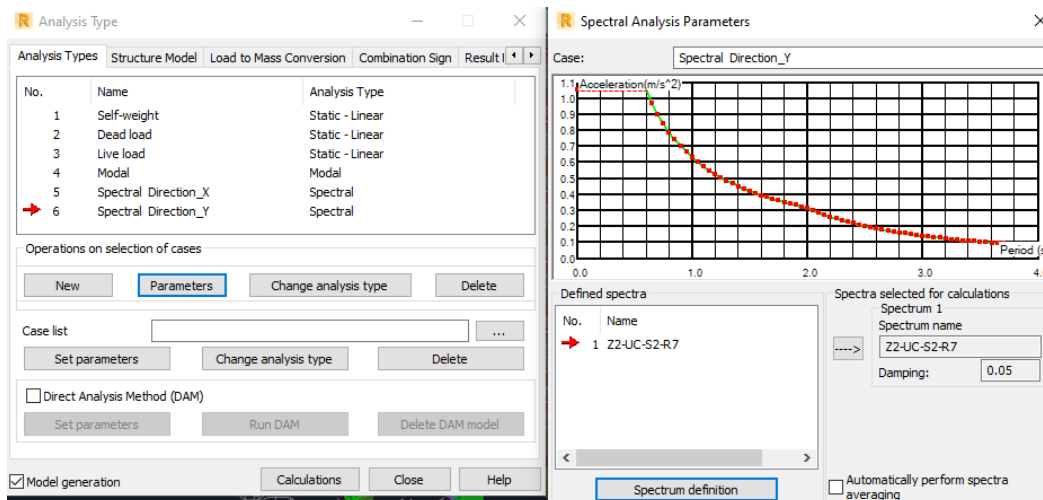
**Tabla III- 17**

*Parámetros de espectro de diseño preliminar para sistemas Duales*

Espectro sísmico de diseño preliminar - Caso SED			
Parámetro	Nomenclatura	Condición	Factor
Factor de zona	Z	Zona 2 - Z2	0.25
Factor de uso	U	Uso de vivienda - UC	1.00
Factor de suelo	S	Suelos intermedios - S2	1.20
Factor de reducción básico	R <sub>0</sub>	Sistema estructural Dual	7.00
Factor de irregularidad de altura	I <sub>a</sub>	Regular	1.00
Factor de irregularidad de planta	I <sub>p</sub>	Regular	1.00
	T <sub>p</sub> (s)	Periodo T <sub>p</sub>	0.60
	T <sub>L</sub> (s)	Periodo T <sub>L</sub>	2.00
	g (m/s <sup>2</sup> )	aceleración de gravedad	9.80665

**Figura III- 31**

*Asignación de espectro preliminar para sistemas Duales en ARSAP 2022*





### 6.2.6. Verificación de sistemas estructurales

En el caso SEA, ya que todos los elementos verticales son columnas; fue evidente que la fuerza cortante basal en un 100% (y en ambos sentidos) actúa en estos elementos. Por lo que una verificación analítica fue más que redundante.

Sin embargo, en el caso SED tuvo que correrse el preanálisis con el espectro sísmico confeccionado preliminarmente para determinar si las fuerzas cortantes basales en los sentidos X e Y eran absorbidas a lo mucho en un 70% por los muros estructurales del sistema mixto.

**Tabla III- 18**

*Verificación de clasificación de sistemas estructurales Aporticado y Dual*

Verificación de sistema estructural - Caso SED (SX)				
Carga/Nivel	FX (tnf)	FX en columnas (tnf)	FX en muros (tnf)	FX en muros (%)
SX/1	<b>129.8132</b>	39.1396	<b>90.6735</b>	<b>69.85%</b>
		FY en columnas (tnf)	FY en muros (tnf)	FY en muros (%)
	35.7206	20.6063	15.1143	<b>42.31%</b>
Verificación de sistema estructural - Caso SED (SY)				
Carga/Nivel	FX (tnf)	FX en columnas (tnf)	FX en muros (tnf)	FX en muros (%)
SY/1	36.7262	10.2495	25.4767	<b>69.37%</b>
		FY en columnas (tnf)	FY en muros (tnf)	FY en muros (%)
	<b>175.4286</b>	73.9202	<b>101.5083</b>	<b>57.86%</b>

Condición que se cumplió con un máximo de fuerza sísmica cortante basal actuante de 69.85% en los muros para el sismo en la dirección X. Esto siendo concordante con lo que establece los artículos N° 16.1 y N°18 de la norma E.030 para que este caso se confirme como un sistema estructural Dual en ambos sentidos y los valores del factor  $R_0$  según la tabla N°7 de la misma norma sean congruentes con la confección preliminar del espectro sísmico de diseño.





### 6.2.7. Verificación de irregularidades estructurales

Este procedimiento incluyó las verificaciones de irregularidades estructurales en planta (Ip), como de las irregularidades estructurales en altura (Ia) de los casos de control SEA y SED para la estructura de estudio, recurriéndose así a los artículos N°19 y N°20 de la norma E.030: Diseño Sismorresistente para realizar los preanálisis evaluando las irregularidades debidas, y luego los factores de irregularidad estipulados en las tablas N°8 y N°9 de la misma norma para así confeccionar los espectros sísmicos de diseño finales.

#### 6.2.7.1. Verificación de Irregularidad por Esquinas Entrantes

Esta primera irregularidad geométrica fue verificada al realizar las respectivas mediciones en las plantas estructurales de la estructura; y ya que esta distribución no variaba, los resultados fueron concluyentes para los casos SEA y SED como exentos de esta irregularidad.

**Tabla III- 19**  
*Irregularidad por Esquinas Entrantes*

Determinación de Irregularidad por Esquinas Entrantes - Casos SEA y SED								
Nivel	Longitud de esquina (m)	Longitud de planta (m)	Longitud esquina/longitud planta (relación A)	Ancho de esquina (m)	Ancho de planta (m)	Ancho esquina/ancho planta (relación B)	Evaluación de irregularidad (Relaciones A/B > 0.20)	Factor de irregularidad
1	2.450	19.750	<b>0.124</b>	6.950	9.650	<b>0.720</b>	No	<b>1.00</b>
2	2.450	20.375	<b>0.120</b>	6.950	9.650	<b>0.720</b>	No	
3	2.450	20.375	<b>0.120</b>	6.950	9.650	<b>0.720</b>	No	
4	2.450	20.375	<b>0.120</b>	6.950	9.650	<b>0.720</b>	No	
5	2.450	20.375	<b>0.120</b>	6.950	9.650	<b>0.720</b>	No	
6	2.450	20.375	<b>0.120</b>	6.950	9.650	<b>0.720</b>	No	
7	2.450	20.375	<b>0.120</b>	6.950	9.650	<b>0.720</b>	No	
8	2.450	20.375	<b>0.120</b>	6.950	9.650	<b>0.720</b>	No	



### 6.2.7.2. Verificación de Irregularidad del Diafragma

De igual manera, la verificación para esta irregularidad fue llevada a cabo realizando las medidas respectivas sobre las plantas estructurales. Descartándose así alguna irregularidad presente para los casos SEA y SED.

**Tabla III- 20**

*Irregularidad por Discontinuidad de Diafragma*

Determinación de Irregularidad por Discontinuidad de Diafragma - Casos SEA y SED									
Nivel	Longitud de planta (m)	Ancho de planta (m)	Área de planta (m <sup>2</sup> )	Longitud de abertura (m)	Ancho de abertura (m)	Área de abertura (m <sup>2</sup> )	Porcentaje de abertura (%)	Evaluación de irregularidad (% de abertura > 50%)	Factor de irregularidad
1	20.375	9.650	196.619	0.000	0.000	0.000	0.00%	No	<b>1.00</b>
2	20.375	9.650	196.619	3.575	5.050	18.054	9.18%	No	
3	20.375	9.650	196.619	3.575	5.050	18.054	9.18%	No	
4	20.375	9.650	196.619	3.575	5.050	18.054	9.18%	No	
5	20.375	9.650	196.619	3.575	5.050	18.054	9.18%	No	
6	20.375	9.650	196.619	3.575	5.050	18.054	9.18%	No	
7	20.375	9.650	196.619	3.575	5.050	18.054	9.18%	No	
8	20.375	9.650	196.619	3.575	5.050	18.054	9.18%	No	

### 6.2.7.3. Verificación de Irregularidad por Sistemas no Paralelos

Se verificó la ausencia de esta irregularidad debido a que los ejes estructurales eran totalmente paralelos para los casos SEA y SED.

**Tabla III- 21**

*Irregularidad por Sistemas No Paralelos*

Determinación de Irregularidad por Sistemas No Paralelos - Casos SEA y SED				
Nivel	Quiebre angular entre ejes adyacentes longitudinales (°)	Quiebre angular entre ejes adyacentes transversales (°)	Evaluación de irregularidad (Quiebres angulares > 30°)	Factor de irregularidad
1	0.0	0.0	No	<b>1.00</b>
2	0.0	0.0	No	
3	0.0	0.0	No	
4	0.0	0.0	No	
5	0.0	0.0	No	
6	0.0	0.0	No	
7	0.0	0.0	No	
8	0.0	0.0	No	



#### 6.2.7.4. Verificación de Irregularidad Geométrica Vertical

Ninguna variación de las dimensiones longitudinales o transversales de las plantas entre piso y piso era notoria ni se acercaba a los límites normados para ser considerada irregularidad.

**Tabla III- 22**

*Irregularidad por Geometría Vertical*

Determinación de Irregularidad por Geometría Vertical - Casos SEA y SED						
Nivel	Longitud de planta (m)	Relación de longitudes (piso superior/inferior)	Ancho de planta (m)	Relación de anchos (piso superior/inferior)	Evaluación de irregularidad (Relaciones > 1.30)	Factor de irregularidad
1	19.750	-	9.650	-	No	<b>1.00</b>
2	20.375	<b>1.032</b>	9.650	<b>1.000</b>	No	
3	20.375	<b>1.000</b>	9.650	<b>1.000</b>	No	
4	20.375	<b>1.000</b>	9.650	<b>1.000</b>	No	
5	20.375	<b>1.000</b>	9.650	<b>1.000</b>	No	
6	20.375	<b>1.000</b>	9.650	<b>1.000</b>	No	
7	20.375	<b>1.000</b>	9.650	<b>1.000</b>	No	
8	20.375	<b>1.000</b>	9.650	<b>1.000</b>	No	

#### 6.2.7.5. Verificación de Irregularidad por Discontinuidad en los Sistemas Resistentes

Ni en los planos arquitectónicos y consecuentemente ni en los modelamientos estructurales se aprecia un desalineamiento vertical o cambio de orientación de los elementos verticales sean columnas o muros estructurales, tanto para los casos SEA como SED. Por lo tanto, no se evaluó alguna irregularidad presente.



**6.2.7.6. Verificación de Irregularidad de Masa o Peso**

No se encontró alguna irregularidad de este tipo para los casos SEA y SED, debido a que la variación porcentual no superaba el 50% del peso del piso inferior (o del superior).

**Tabla III- 23**

*Irregularidad de Peso en sistemas Aporticados y Duales*

Determinación de Irregularidad de Peso - Caso SEA				
Nivel	FZ (tnf)	Relación piso actual / piso superior	Evaluación de irregularidad (>1.50)	Factor de irregularidad
1	19.8746	<b>Hacia el terreno</b>	-	<b>1.00</b>
2	193.4308	<b>1.00</b>	No	
3	193.4308	<b>1.00</b>	No	
4	193.4308	<b>1.00</b>	No	
5	193.4308	<b>1.00</b>	No	
6	193.4308	<b>1.00</b>	No	
7	193.4308	<b>No contra azoteas</b>	-	
8	96.7388	-	-	

Determinación de Irregularidad de Peso - Caso SED				
Nivel	FZ (tnf)	Relación piso actual / piso superior	Evaluación de irregularidad (>1.50)	Factor de irregularidad
1	14.795	<b>Hacia el terreno</b>	-	<b>1.00</b>
2	193.5076	<b>1.00</b>	No	
3	193.5076	<b>1.00</b>	No	
4	193.5076	<b>1.00</b>	No	
5	193.5076	<b>1.00</b>	No	
6	193.5076	<b>1.00</b>	No	
7	193.5076	<b>No contra azoteas</b>	-	
8	106.5591	-	-	



### 6.2.7.7. Verificación de Irregularidad de Rigidez

Se verificó que el caso SEA no tiene la irregularidad de este tipo ya que la relación entre la rigidez de un piso cualquiera y el piso inmediato superior no es menor que 0.70, ni la relación entre la rigidez de un piso cualquiera y el promedio de las rigideces de tres pisos inmediatos superiores es menor a 0.80.

**Tabla III- 24**

*Irregularidad de Rigidez en sistemas Acartelados*

Determinación de irregularidad de Rigidez - Caso SEA							
Irregularidad de Rigidez por Sismo X							Factor de irregularidad
Caso/Nivel	FX (tnf)	dr UX(cm)	Kv (tnf/cm)	Verificación 1 (Kv <sup>i</sup> / Kv <sup>(i+1)</sup> )	Verificación 2 (Kv <sup>i</sup> / PROM(Kv <sup>(i+1)</sup> +Kv <sup>(i+2)</sup> +Kv <sup>(i+3)</sup> ))	Evaluación de irregularidad	
SX/2	109.8378	0.203480	<b>539.796</b>	228.74%	279.43%	No	<b>1.00</b>
SX/3	104.5618	0.443078	<b>235.990</b>	129.84%	142.78%	No	
SX/4	94.7441	0.521271	<b>181.756</b>	112.34%	120.56%	No	
SX/5	82.3674	0.509095	<b>161.792</b>	106.23%	129.21%	No	
SX/6	68.0413	0.446767	<b>152.297</b>	110.20%	-	No	
SX/7	49.9160	0.361180	<b>138.203</b>	162.30%	-	No	
SX/8	24.0038	0.281900	<b>85.150</b>	-	-	No	
Irregularidad de Rigidez por Sismo Y							
Caso/Nivel	FY (tnf)	dr UY(cm)	Kv (tnf/cm)	Verificación 1 (Kv <sup>i</sup> / Kv <sup>(i+1)</sup> )	Verificación 2 (Kv <sup>i</sup> / PROM(Kv <sup>(i+1)</sup> +Kv <sup>(i+2)</sup> +Kv <sup>(i+3)</sup> ))	Evaluación de irregularidad	
SY/2	129.8632	0.159907	<b>812.117</b>	194.96%	217.55%	No	
SY/3	124.6617	0.299269	<b>416.554</b>	115.82%	120.01%	No	
SY/4	113.7072	0.316147	<b>359.666</b>	104.66%	107.30%	No	
SY/5	98.2346	0.285842	<b>343.667</b>	101.68%	116.36%	No	
SY/6	78.6618	0.232725	<b>338.003</b>	104.35%	-	No	
SY/7	54.4168	0.168004	<b>323.902</b>	144.53%	-	No	
SY/8	24.0687	0.107399	<b>224.105</b>	-	-	No	



Se verificó que el caso SED no tiene la irregularidad de este tipo ya que la relación entre la rigidez de un piso cualquiera y el piso inmediato superior no es menor que 0.70, ni la relación entre la rigidez de un piso cualquiera y el promedio de las rigideces de tres pisos inmediatos superiores es menor a 0.80.

**Tabla III- 25**

*Irregularidad de Rigidez en sistemas Duales*

Determinación de irregularidad de Rigidez - Caso SED							Factor de irregularidad
Irregularidad de Rigidez por Sismo X						1.00	
Caso/Nivel	FX (tnf)	dr UX(cm)	Kv (tnf/cm)	Verificación 1 (Kv <sup>i</sup> / Kv <sup>(i+1)</sup> )	Verificación 2 (Kv <sup>i</sup> / PROM(Kv <sup>(i+1)</sup> +Kv <sup>(i+2)</sup> +Kv <sup>(i+3)</sup> ))		Evaluación de irregularidad
SX/2	94.8933	0.104020	<b>912.260</b>	244.35%	325.61%		No
SX/3	90.2711	0.241796	<b>373.336</b>	143.77%	174.78%		No
SX/4	82.0326	0.315914	<b>259.668</b>	125.14%	149.89%		No
SX/5	71.7248	0.345669	<b>207.496</b>	119.50%	159.36%		No
SX/6	59.8551	0.344702	<b>173.643</b>	125.30%	-		No
SX/7	45.1593	0.325878	<b>138.577</b>	176.76%	-		No
SX/8	23.6325	0.301438	<b>78.399</b>	-	-		No
Irregularidad de Rigidez por Sismo Y							1.00
Caso/Nivel	FY (tnf)	dr UY(cm)	Kv (tnf/cm)	Verificación 1 (Kv <sup>i</sup> / Kv <sup>(i+1)</sup> )	Verificación 2 (Kv <sup>i</sup> / PROM(Kv <sup>(i+1)</sup> +Kv <sup>(i+2)</sup> +Kv <sup>(i+3)</sup> ))	Evaluación de irregularidad	
SY/2	124.0510	0.122602	<b>1011.819</b>	216.75%	265.64%	No	
SY/3	118.5666	0.253991	<b>466.814</b>	129.73%	145.11%	No	
SY/4	108.1146	0.300447	<b>359.846</b>	113.86%	125.90%	No	
SY/5	94.3715	0.298611	<b>316.035</b>	109.27%	136.16%	No	
SY/6	77.5834	0.268255	<b>289.215</b>	114.69%	-	No	
SY/7	56.6274	0.224550	<b>252.182</b>	162.77%	-	No	
SY/8	28.1567	0.181741	<b>154.928</b>	-	-	No	



**6.2.7.8. Verificación de Irregularidad de Resistencia**

Se evaluó que el caso SEA no tiene presente alguna irregularidad de este tipo en cualquiera de las direcciones sísmicas, dado que ninguna relación de resistencia a corte de un nivel y la resistencia a corte del nivel inmediato superior fue menor a 80%.

**Tabla III- 26**  
*Irregularidad de Resistencia en sistemas Aparticados*

Determinación de Irregularidad de Resistencia - Caso SEA																																																					
Columna	b (cm)	d (cm)	Nivel 1			Nivel 2			Nivel 3			Nivel 4			Nivel 5			Nivel 6			Nivel 7			Nivel 8																													
			Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)																											
A-1	35	85	80.707	24.16	25.99	78.887	24.07	25.90	66.728	23.48	25.26	54.841	22.90	24.64	42.158	22.29	23.98	29.774	21.68	23.33	17.350	21.08	22.68	4.898	20.48	22.03																											
A-2	85	35	92.323	26.60	24.72	90.502	26.51	24.64	75.746	25.73	23.92	61.296	24.98	23.22	47.038	24.23	22.52	32.928	23.50	21.84	18.917	22.76	21.16	4.953	22.03	20.48																											
A-3	95	40	62.822	31.26	29.37	60.496	31.14	29.25	51.742	30.68	28.82	42.617	30.20	28.37	33.264	29.70	27.91	23.731	29.20	27.44	14.073	28.70	26.96	4.369	28.19	26.48																											
A-5	95	40	67.074	31.48	29.58	64.749	31.36	29.46	55.015	30.85	28.98	45.084	30.33	28.49	34.999	29.80	28.00	24.797	29.26	27.49	14.512	28.72	26.98	4.169	28.18	26.47																											
A-7	35	85	60.451	23.18	24.93	58.630	23.09	24.84	48.984	22.62	24.33	39.617	22.16	23.85	30.378	21.71	23.36	21.241	21.27	22.88	12.173	20.83	22.41	3.135	20.39	21.94																											
A-8	85	35	37.293	23.72	22.05	35.472	23.63	21.96	30.328	23.36	21.71	24.898	23.08	21.45	19.329	22.78	21.18	13.649	22.49	20.90	7.895	22.19	20.62	2.078	21.88	20.34																											
B-5	35	85	84.695	24.35	26.20	82.874	24.26	26.11	69.538	23.62	25.41	56.451	22.98	24.73	43.536	22.35	24.05	30.754	21.73	23.38	18.069	21.12	22.72	5.349	20.50	22.05																											
B-7	85	35	84.244	26.18	24.33	82.423	26.08	24.24	68.250	25.34	23.55	54.870	24.64	22.90	41.963	23.97	22.28	29.424	23.31	21.67	17.129	22.67	21.07	5.034	22.04	20.48																											
B-8	85	35	32.629	23.48	21.82	33.808	23.54	21.88	29.497	23.32	21.67	24.561	23.06	21.43	19.292	22.78	21.18	13.765	22.49	20.91	8.069	22.20	20.63	2.227	21.89	20.35																											
C-1	35	85	105.918	25.38	27.31	104.097	25.30	27.22	87.939	24.51	26.37	71.810	23.73	25.53	55.688	22.94	24.69	39.753	22.17	23.85	23.463	21.38	23.00	7.356	20.60	22.16																											
C-2	85	35	125.849	28.35	26.35	124.028	28.26	26.26	104.346	27.23	25.31	84.920	26.21	24.36	65.660	25.21	23.43	46.536	24.21	22.50	27.505	23.21	21.57	8.532	22.22	20.65																											
C-3	95	40	96.691	33.04	31.04	94.365	32.92	30.93	79.899	32.16	30.21	65.332	31.39	29.49	50.706	30.62	28.77	36.033	29.85	28.05	21.327	29.08	27.32	6.603	28.30	26.59																											
D-5	35	85	58.616	23.09	24.84	56.795	23.00	24.74	48.356	22.59	24.30	39.731	22.17	23.85	30.996	21.74	23.39	22.172	21.32	22.93	13.291	20.88	22.47	4.375	20.45	22.00																											
D-6	85	35	62.179	25.02	23.26	60.358	24.93	23.17	50.696	24.42	22.70	41.189	23.93	22.24	31.776	23.44	21.78	22.439	22.95	21.33	13.152	22.46	20.88	3.899	21.98	20.43																											
D-7	85	35	53.795	24.59	22.85	51.974	24.49	22.76	43.811	24.06	22.37	35.658	23.64	21.97	27.534	23.21	21.58	19.432	22.79	21.18	11.346	22.37	20.79	3.271	21.95	20.40																											
E-1	35	85	62.336	23.27	25.03	60.516	23.18	24.94	51.247	22.73	24.45	41.914	22.27	23.97	32.527	21.82	23.47	23.099	21.36	22.98	13.642	20.90	22.49	4.167	20.44	21.99																											
E-2	85	35	73.782	25.63	23.82	71.962	25.54	23.73	60.705	24.95	23.19	49.501	24.36	22.64	38.320	23.78	22.10	27.162	23.19	21.56	16.019	22.61	21.02	4.892	22.03	20.48																											
E-3	35	85	48.672	22.60	24.32	46.851	22.51	24.22	39.505	22.16	23.84	32.140	21.80	23.45	24.753	21.44	23.07	17.343	21.08	22.68	9.908	20.72	22.29	2.471	20.36	21.90																											
E-4	35	85	39.145	22.14	23.82	37.324	22.05	23.73	31.718	21.78	23.43	25.949	21.50	23.13	20.087	21.21	22.82	14.154	20.93	22.51	8.180	20.64	22.20	2.171	20.34	21.89																											
E-6	85	35	49.296	24.35	22.63	47.476	24.26	22.54	39.832	23.86	22.17	32.238	23.46	21.80	24.664	23.06	21.44	17.107	22.67	21.07	9.562	22.27	20.70	2.008	21.88	20.34																											
E-7	85	35	38.509	23.79	22.11	36.688	23.69	22.02	30.989	23.39	21.74	25.212	23.09	21.46	19.396	22.79	21.18	13.549	22.48	20.90	7.681	22.18	20.61	1.803	21.87	20.33																											
ΣVc (nivel) / Caso	Nivel 1 (X)		<b>535.66</b>			Nivel 2 (X)			<b>533.79</b>			Nivel 3 (X)			<b>522.82</b>			Nivel 4 (X)			<b>511.87</b>			Nivel 5 (X)			<b>500.89</b>			Nivel 6 (X)			<b>489.93</b>			Nivel 7 (X)			<b>478.95</b>			Nivel 8 (X)			<b>467.98</b>								
	Nivel 1 (Y)		<b>526.40</b>			Nivel 2 (Y)			<b>524.55</b>			Nivel 3 (Y)			<b>513.76</b>			Nivel 4 (Y)			<b>502.98</b>			Nivel 5 (Y)			<b>492.17</b>			Nivel 6 (Y)			<b>481.38</b>			Nivel 7 (Y)			<b>470.58</b>			Nivel 8 (Y)			<b>459.77</b>								
Evaluación [Vc(Niv. actual) / Vc (Niv. superior)]	Niv. 1/Niv. 2 (X)		100.4%			Niv. 2/Niv. 3 (X)			102.1%			Niv. 3/Niv. 4 (X)			102.1%			Niv. 4/Niv. 5 (X)			102.2%			Niv. 5/Niv. 6 (X)			102.2%			Niv. 6/Niv. 7 (X)			102.3%			Niv. 7/Niv. 8 (X)			102.3%														
	Niv. 1/Niv. 2 (Y)		100.4%			Niv. 2/Niv. 3 (Y)			102.1%			Niv. 3/Niv. 4 (Y)			102.1%			Niv. 4/Niv. 5 (Y)			102.2%			Niv. 5/Niv. 6 (Y)			102.2%			Niv. 6/Niv. 7 (Y)			102.3%			Niv. 7/Niv. 8 (Y)			102.3%														
																									Factor de irregularidad	<b>1.00</b>																											





Se evaluó que el caso SED no tiene presente alguna irregularidad de este tipo en cualquiera de las direcciones sísmicas, dado que ninguna relación de resistencia a corte de un nivel y la resistencia a corte del nivel inmediato superior fue menor a 80%.

**Tabla III- 27**  
*Irregularidad de Resistencia en sistemas Duales*

Determinación de Irregularidad de Resistencia - Caso SED																																
Columna/ Muro	b (cm)	d (cm)	Nivel 1			Nivel 2			Nivel 3			Nivel 4			Nivel 5			Nivel 6			Nivel 7			Nivel 8								
			Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)	Nu (tnf)	Vc (X) (tnf)	Vc (Y) (tnf)						
A-1	35	85	72.401	23.76	25.56	70.580	23.67	25.46	59.526	23.13	24.89	48.453	22.59	24.31	37.372	22.05	23.73	26.279	21.51	23.15	15.177	20.98	22.57	4.068	20.44	21.99						
A-2	167.5	35	85.752	48.54	44.05	77.980	48.13	43.67	67.430	47.56	43.16	55.844	46.94	42.59	44.295	46.32	42.03	32.812	45.71	41.47	21.280	45.09	40.91	10.918	44.54	40.41						
A-3	95	40	54.043	30.80	28.94	51.717	30.67	28.82	43.883	30.26	28.43	35.908	29.84	28.04	27.845	29.42	27.64	19.710	28.99	27.24	11.521	28.56	26.84	3.314	28.13	26.43						
A-5	95	40	59.711	31.09	29.22	57.386	30.97	29.10	48.428	30.50	28.66	39.438	30.03	28.21	30.419	29.56	27.77	21.377	29.08	27.32	12.318	28.60	26.88	3.247	28.13	26.43						
A-7	35	85	55.324	22.93	24.67	53.504	22.84	24.57	44.614	22.41	24.11	35.993	21.99	23.66	27.526	21.58	23.21	19.182	21.17	22.78	10.922	20.77	22.34	2.697	20.37	21.92						
A-8	85	35	35.265	23.62	21.95	33.444	23.52	21.86	28.617	23.27	21.63	23.528	23.00	21.38	18.283	22.73	21.13	12.911	22.45	20.87	7.452	22.16	20.60	1.933	21.88	20.33						
B-5	30	200	93.366	44.38	50.18	84.726	43.97	49.72	70.806	43.30	48.97	56.853	42.64	48.22	43.806	42.02	47.52	31.253	41.42	46.84	20.045	40.89	46.24	10.760	40.45	45.74						
B-7	85	35	60.759	24.95	23.19	50.699	24.42	22.70	41.094	23.92	22.23	31.809	23.44	21.78	22.766	22.96	21.34	13.884	22.50	20.91	5.128	22.04	20.49	3.308	21.95	20.40						
B-8	85	35	33.679	23.53	21.87	31.858	23.44	21.79	27.363	23.20	21.57	22.570	22.95	21.33	17.584	22.69	21.09	12.450	22.42	20.84	7.218	22.15	20.59	1.907	21.87	20.33						
C-1	35	85	92.683	24.74	26.62	90.862	24.65	26.52	76.671	23.96	25.78	62.533	23.28	25.04	48.430	22.59	24.31	34.356	21.91	23.57	20.301	21.22	22.84	6.259	20.54	22.10						
C-2	167.5	25	107.690	37.16	31.98	98.260	36.66	31.54	85.291	35.96	30.95	70.987	35.20	30.29	56.667	34.43	29.63	42.376	33.66	28.97	28.220	32.90	28.32	17.222	32.32	27.81						
C-3	95	40	58.833	31.05	29.17	56.508	30.93	29.06	46.437	30.40	28.56	37.033	29.90	28.10	28.071	29.43	27.65	19.400	28.98	27.22	10.886	28.53	26.80	2.462	28.09	26.39						
D-3	170	25	29.475	33.45	28.78	28.945	33.42	28.75	25.689	33.25	28.60	22.394	33.07	28.45	18.510	32.87	28.27	14.137	32.63	28.07	9.757	32.40	27.87	8.135	32.31	27.79						
(D-3)-(D-4)	25	187.5	35.849	31.89	37.16	35.945	31.90	37.16	30.024	31.63	36.85	24.128	31.35	36.53	18.191	31.08	36.21	12.206	30.80	35.89	7.098	30.57	35.62	3.576	30.41	35.43						
D-4	170	25	33.211	33.65	28.95	31.595	33.57	28.88	26.290	33.28	28.63	21.094	33.00	28.39	15.962	32.73	28.15	10.871	32.46	27.92	6.492	32.22	27.72	3.694	32.07	27.59						
D-5	35	85	41.127	22.24	23.92	39.306	22.15	23.83	33.123	21.85	23.51	26.944	21.55	23.18	20.799	21.25	22.86	14.671	20.95	22.54	8.556	20.65	22.22	2.451	20.36	21.90						
(D-6)-(E-6)	265	35	106.035	75.89	68.25	95.592	75.33	67.74	79.862	74.48	66.98	64.609	73.65	66.23	51.172	72.93	65.58	37.970	72.21	64.94	24.734	71.50	64.30	13.151	70.87	63.73						
D-7	85	35	47.827	24.27	22.56	46.006	24.18	22.47	38.708	23.80	22.12	31.448	23.42	21.77	24.228	23.04	21.42	17.049	22.67	21.07	9.896	22.29	20.72	2.758	21.92	20.37						
E-1	35	85	55.720	22.95	24.69	53.899	22.86	24.59	45.615	22.45	24.16	37.272	22.05	23.72	28.893	21.64	23.28	20.487	21.23	22.85	12.064	20.82	22.40	3.629	20.41	21.96						
E-2	135	25	65.212	28.62	24.78	59.262	28.31	24.50	49.989	27.81	24.08	39.403	27.25	23.59	29.546	26.73	23.14	19.716	26.20	22.68	9.906	25.68	22.23	7.358	25.55	22.11						
E-3	35	85	36.478	22.01	23.68	34.657	21.92	23.59	28.956	21.64	23.29	23.360	21.37	23.00	17.841	21.10	22.71	12.379	20.84	22.42	6.949	20.58	22.14	1.578	20.31	21.86						
E-4	35	85	33.997	21.89	23.55	32.176	21.80	23.46	26.940	21.55	23.18	21.725	21.29	22.91	16.569	21.04	22.64	11.468	20.80	22.37	6.413	20.55	22.11	1.397	20.31	21.85						
E-7	85	35	35.346	23.62	21.96	33.525	23.53	21.87	28.209	23.25	21.61	22.863	22.97	21.35	17.511	22.69	21.09	12.152	22.41	20.83	6.789	22.13	20.57	1.432	21.85	20.31						
ΣVc (nivel) / Caso			Nivel 1 (X)	<b>707.04</b>			Nivel 2 (X)	<b>702.82</b>			Nivel 3 (X)	<b>692.87</b>			Nivel 4 (X)	<b>682.79</b>			Nivel 5 (X)	<b>672.88</b>			Nivel 6 (X)	<b>663.01</b>			Nivel 7 (X)	<b>653.30</b>			Nivel 8 (X)	<b>645.05</b>
			Nivel 1 (Y)	<b>685.66</b>			Nivel 2 (Y)	<b>681.66</b>			Nivel 3 (Y)	<b>671.92</b>			Nivel 4 (Y)	<b>662.07</b>			Nivel 5 (Y)	<b>652.40</b>			Nivel 6 (Y)	<b>642.77</b>			Nivel 7 (Y)	<b>633.30</b>			Nivel 8 (Y)	<b>625.18</b>
Evaluación [Vc(Niv. actual)/ Vc (Niv. superior)]			Niv. 1/Niv. 2 (X)	100.6%			Niv. 2/Niv. 3 (X)	101.4%			Niv. 3/Niv. 4 (X)	101.5%			Niv. 4/Niv. 5 (X)	101.5%			Niv. 5/Niv. 6 (X)	101.5%			Niv. 6/Niv. 7 (X)	101.5%			Niv. 7/Niv. 8 (X)	101.3%			Factor de irregularidad	<b>1.00</b>
			Niv. 1/Niv. 2 (Y)	100.6%			Niv. 2/Niv. 3 (Y)	101.4%			Niv. 3/Niv. 4 (Y)	101.5%			Niv. 4/Niv. 5 (Y)	101.5%			Niv. 5/Niv. 6 (Y)	101.5%			Niv. 6/Niv. 7 (Y)	101.5%			Niv. 7/Niv. 8 (Y)	101.3%				



### 6.2.7.9. Verificación de Irregularidad Torsional

La verificación en el caso SEA indica que el sistema tiene una irregularidad media en la dirección X, aunque no extrema, debido a que en el preanálisis hay relaciones entre desplazamiento relativo máximo de entrepiso y desplazamiento relativo promedio de entrepiso mayores que 1.30 pero menores que 1.50. Para esto se evaluó que las excentricidades accidentales (art. N°29.5-E.030) más perjudiciales fueron relativamente de -5.00% en X e Y de las plantas estructurales.

**Tabla III- 28**

*Irregularidades Torsionales en sistemas Aporticados*

Determinación de Irregularidad Torsional - Caso SEA										
Irregularidad Torsional por Sismo X (ExcX = -5.0% , ExcY = -5.0%)										
Caso/Nivel	Nudo extremo A	UYA (cm)	dr UYA (cm)	Nudo extremo B	UYB (cm)	dr UYB (cm)	Prom. dr UX (cm)	(Máx. dr UX / Prom. dr UX)	Evaluación de irregularidad	Factor de irregularidad
SX/2	44	0.281175	<b>0.281175</b>	34	0.104641	0.104641	<b>0.192908</b>	1.46	Irreg. Media	<b>0.75</b>
SX/3	69	0.872611	<b>0.591436</b>	63	0.331461	0.226820	<b>0.409128</b>	1.45	Irreg. Media	
SX/4	115	1.546860	<b>0.674249</b>	109	0.599546	0.268085	<b>0.471167</b>	1.43	Irreg. Media	
SX/5	140	2.187879	<b>0.641019</b>	134	0.863474	0.263928	<b>0.452474</b>	1.42	Irreg. Media	
SX/6	165	2.736142	<b>0.548263</b>	159	1.096960	0.233486	<b>0.3908745</b>	1.40	Irreg. Media	
SX/7	190	3.165043	<b>0.428901</b>	184	1.287423	0.190463	<b>0.309682</b>	1.38	Irreg. Media	
SX/8	215	3.484541	<b>0.319498</b>	209	1.438032	0.150609	<b>0.2350535</b>	1.36	Irreg. Media	
Irregularidad Torsional por Sismo Y (ExcX = -5.0% , ExcY = -5.0%)										
Caso/Nivel	Nudo extremo A	UYA (cm)	dr UYA (cm)	Nudo extremo B	UYB (cm)	dr UYB (cm)	Prom. dr UY (cm)	(Máx. dr UY / Prom. dr UY)	Evaluación de irregularidad	Factor de irregularidad
SY/2	44	0.172177	<b>0.172177</b>	46	0.167331	0.167331	<b>0.169754</b>	1.01	No	<b>1.00</b>
SY/3	69	0.488643	0.316466	71	0.488457	<b>0.321126</b>	<b>0.318796</b>	1.01	No	
SY/4	115	0.818346	0.329703	117	0.834234	<b>0.345777</b>	<b>0.33774</b>	1.02	No	
SY/5	140	1.113592	0.295246	142	1.150943	<b>0.316709</b>	<b>0.305978</b>	1.04	No	
SY/6	165	1.351927	0.238335	167	1.411568	<b>0.260625</b>	<b>0.24948</b>	1.04	No	
SY/7	190	1.521624	0.169697	192	1.602630	<b>0.191062</b>	<b>0.1803795</b>	1.06	No	
SY/8	215	1.626841	0.105217	217	1.728593	<b>0.125963</b>	<b>0.11559</b>	1.09	No	



La verificación en el caso SED indica que el sistema no tiene alguna irregularidad ni media ni extrema, debido a que en el preanálisis no hay relaciones entre desplazamiento relativo máximo de entrepiso y desplazamiento relativo promedio de entrepiso mayores que 1.30. Aun así, corrido este preanálisis asumiendo el peor de los cuatro casos de excentricidades accidentales encontrados (art. N°29.5-E.030), es decir cuando ocurrió que:  $Exc_x = -5.00\%$ ,  $Exc_y = -5.00\%$

**Tabla III- 29**  
*Irregularidad Torsional en sistemas Duales*

Determinación de Irregularidad Torsional - Caso SED										
Irregularidad Torsional por Sismo X ( $Exc_x = -5.0\%$ , $Exc_y = -5.0\%$ )										
Caso/Nivel	Nudo extremo A	UYA (cm)	dr UYA (cm)	Nudo extremo B	UYB (cm)	dr UYB (cm)	Prom. dr UX (cm)	(Máx. dr UX / Prom. dr UX)	Evaluación de irregularidad	Factor de irregularidad  <b>1.00</b>
SX/2	43	0.163301	<b>0.163301</b>	40	0.138177	0.138177	<b>0.150739</b>	1.08	No	
SX/3	76	0.515434	<b>0.352133</b>	74	0.440919	0.302742	<b>0.3274375</b>	1.08	No	
SX/4	124	0.946071	<b>0.430637</b>	122	0.816742	0.375823	<b>0.40323</b>	1.07	No	
SX/5	151	1.38826	<b>0.442189</b>	149	1.209546	0.392804	<b>0.417497</b>	1.06	No	
SX/6	178	1.800119	<b>0.411859</b>	176	1.582598	0.373052	<b>0.3924555</b>	1.05	No	
SX/7	205	2.160305	<b>0.360186</b>	203	1.916131	0.333533	<b>0.3468595</b>	1.04	No	
SX/8	232	2.468723	<b>0.308418</b>	230	2.206748	0.290617	<b>0.2995175</b>	1.03	No	
Irregularidad Torsional por Sismo Y ( $Exc_x = -5.0\%$ , $Exc_y = -5.0\%$ )										
Caso/Nivel	Nudo extremo A	UYA (cm)	dr UYA (cm)	Nudo extremo B	UYB (cm)	dr UYB (cm)	Prom. dr UY (cm)	(Máx. dr UY / Prom. dr UY)	Evaluación de irregularidad	
SY/2	43	0.119595	<b>0.119595</b>	45	0.119235	0.119235	<b>0.119415</b>	1.00	No	
SY/3	76	0.359448	0.239853	78	0.365673	<b>0.246438</b>	<b>0.2431455</b>	1.01	No	
SY/4	124	0.640868	0.281420	126	0.670324	<b>0.304651</b>	<b>0.2930355</b>	1.04	No	
SY/5	151	0.921271	0.280403	153	0.994362	<b>0.324038</b>	<b>0.302221</b>	1.07	No	
SY/6	178	1.174227	0.252956	180	1.309737	<b>0.315375</b>	<b>0.2841655</b>	1.11	No	
SY/7	205	1.386262	0.212035	207	1.5983	<b>0.288563</b>	<b>0.250299</b>	1.15	No	
SY/8	232	1.555381	0.169119	234	1.849050	<b>0.250750</b>	<b>0.2099345</b>	1.19	No	

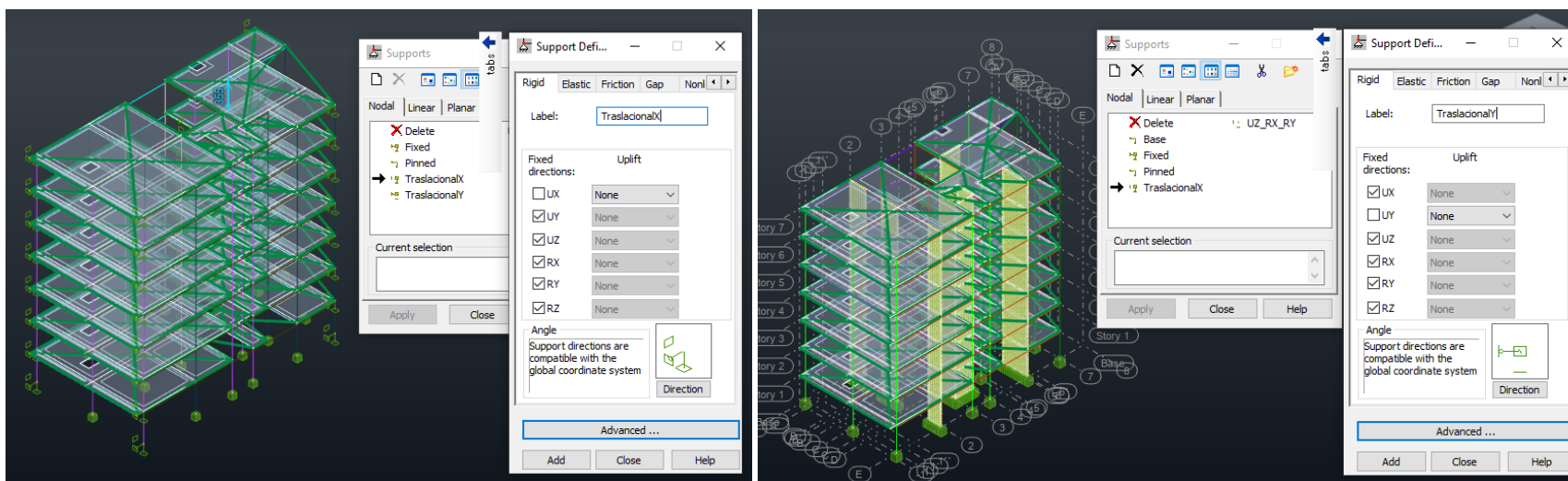


### 6.2.8. Verificación sísmica estática

En esta fase fue necesario, primeramente, extraer los periodos fundamentales traslacionales en las direcciones X e Y del comportamiento modal de la estructura tanto para los casos SEA y SED por lo cual se corrió un segundo preanálisis donde algunas de las restricciones en los apoyos y nodos de los extremos laterales fueron adecuadas en ambos casos para así forzar un comportamiento netamente unidireccional y sin rotaciones.

**Figura III- 32**

*Asignación de apoyos y liberaciones con habilitación traslacional en X o Y para sistemas Aporticados y Duales*

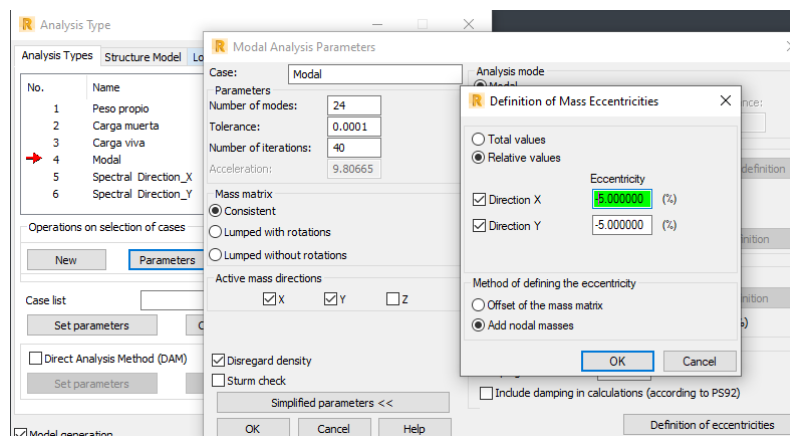




En segundo lugar, y de igual manera, se configuró el escenario más perjudicial en el preanálisis modal donde ambas excentricidades se ubicaban relativamente a -5.00% de las dimensiones en X e Y de las plantas estructurales para los casos SEA y SED. Nuevamente alineándose a las disposiciones del artículo N°29.5 de la norma E.030.

**Figura III- 33**

*Asignación de excentricidades en los parámetros del análisis modal*



Luego de realizarse este otro preanálisis se extrajo los periodos traslacionales para las direcciones X e Y en los casos SEA y SED que fueron determinados dentro del primer modo fundamental de vibración como se muestra respectivamente.

**Tabla III- 30**

*Periodos traslacionales en X e Y del SEA (izq. a der.)*

Case/Mode	Frequency (Hz)	Period (sec)	Rel.mas.UX (%)	Rel.mas.UY (%)	Rel.mas.UZ (%)	Case/Mode	Frequency (Hz)	Period (sec)	Rel.mas.UX (%)	Rel.mas.UY (%)	Rel.mas.UZ (%)
4/ 1	1.589340	0.629192	82.902935	0.000000	0.0	4/ 1	1.666570	0.600035	0.000000	85.458843	0.0
4/ 2	5.007205	0.199712	92.185638	0.000000	0.0	4/ 2	5.141133	0.194510	0.000000	94.156509	0.0
4/ 3	9.037079	0.110655	95.592852	0.000000	0.0	4/ 3	8.976805	0.111398	0.000000	96.921054	0.0
4/ 4	13.880114	0.072046	97.422707	0.000000	0.0	4/ 4	13.166852	0.075948	0.000000	98.227982	0.0
4/ 5	19.666424	0.050848	98.568312	0.000000	0.0	4/ 5	17.636207	0.056702	0.000000	98.966840	0.0
4/ 6	26.027956	0.038420	99.245044	0.000000	0.0	4/ 6	22.111454	0.045225	0.000000	99.374593	0.0
4/ 7	31.439266	0.031807	99.479084	0.000000	0.0	4/ 7	25.746705	0.038840	0.000000	99.507902	0.0
4/ 8	35.101555	0.028489	99.479096	0.000000	0.0	4/ 8	35.100838	0.028489	0.000020	99.507902	0.0
4/ 9	35.149049	0.028450	99.479136	0.000000	0.0	4/ 9	35.148462	0.028451	0.000021	99.507902	0.0



**Tabla III- 31**

*Periodos traslacionales en X e Y del SED (izq. a der.)*

Case/Mode	Frequency (Hz)	Period (sec)	Rel.mas.UX (%)	Rel.mas.UY (%)	Rel.mas.UZ (%)	Case/Mode	Frequency (Hz)	Period (sec)	Rel.mas.UX (%)	Rel.mas.UY (%)	Rel.mas.UZ (%)
4/ 1	1.897760	0.526937	76.617871	0.000000	0.0	4/ 1	1.876103	0.533020	0.000000	79.620874	0.0
4/ 2	6.481565	0.154284	89.201500	0.000000	0.0	4/ 2	6.092261	0.164143	0.000000	91.417967	0.0
4/ 3	13.079971	0.076453	94.495218	0.000000	0.0	4/ 3	11.388497	0.087808	0.000000	95.738662	0.0
4/ 4	21.315342	0.046915	97.160246	0.000000	0.0	4/ 4	17.256432	0.057949	0.000000	97.716924	0.0
4/ 5	27.580021	0.036284	97.160478	0.000000	0.0	4/ 5	23.244818	0.043020	0.000000	98.714998	0.0
4/ 6	27.612294	0.036216	97.160479	0.000000	0.0	4/ 6	27.560530	0.036284	0.000016	98.714999	0.0
4/ 7	27.641923	0.036177	97.161485	0.000000	0.0	4/ 7	27.612622	0.036215	0.000017	98.715000	0.0
4/ 8	27.672997	0.036136	97.163183	0.000000	0.0	4/ 8	27.644639	0.036173	0.000018	98.715001	0.0
4/ 9	27.692390	0.036111	97.163373	0.000000	0.0	4/ 9	27.672403	0.036137	0.000018	98.715001	0.0

Y consecuentemente se llevó a cabo los análisis estáticos de las fuerzas cortantes basales en los casos SEA y SED para las direcciones ortogonales X e Y con la finalidad de calcular los factores de escalamiento dinámico para así cumplir con las fuerzas cortantes mínimas en los análisis de esta investigación, y de acuerdo al artículo N°29.4 de la norma E.030.

**Tabla III- 32**

*Verificaciones sísmicas estáticas para factores de escalamiento para sistemas Aporticados y Duales*

Verificación estática y determinación de factor de escalamiento dinámico - Caso SEA		
	Análisis en dirección X	Análisis en dirección Y
Periodo traslacional (s)	0.629192	0.600035
Periodo Tp (s)	0.6	
Periodo Tl (s)	2.0	
Factor de amplificación "C"	2.3840	2.4999
Factor de zona "Z"	0.25	
Factor de uso "U"	1.00	
Factor de suelo "S"	1.20	
Factor de irregularidad de planta "Ip"	0.75	1.00
Factor de irregularidad de altura "Ia"	1.00	1.00
Factor de reducción básica "Ro"	8.00	8.00
Peso sísmico "P" (tnf)	1277.1982	
Fuerza cortante basal estática mínima (tnf)	137.018	95.784
Fuerza cortante basal dinámica (tnf)	109.838	129.863
Factor de escalamiento dinámico	<b>1.25</b>	<b>1.00</b>

Verificación estática y determinación de factor de escalamiento dinámico - Caso SED		
	Análisis en dirección X	Análisis en dirección Y
Periodo traslacional (s)	0.526937	0.533020
Periodo Tp (s)	0.6	
Periodo Tl (s)	2.0	
Factor de amplificación "C"	2.50	2.50
Factor de zona "Z"	0.25	
Factor de uso "U"	1.00	
Factor de suelo "S"	1.20	
Factor de irregularidad de planta "Ip"	1.00	1.00
Factor de irregularidad de altura "Ia"	1.00	1.00
Factor de reducción básica "Ro"	7.00	7.00
Peso sísmico "P" (tnf)	1329.8326	
Fuerza cortante basal estática mínima (tnf)	113.986	113.986
Fuerza cortante basal dinámica (tnf)	129.813	175.4286
Factor de escalamiento dinámico	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>

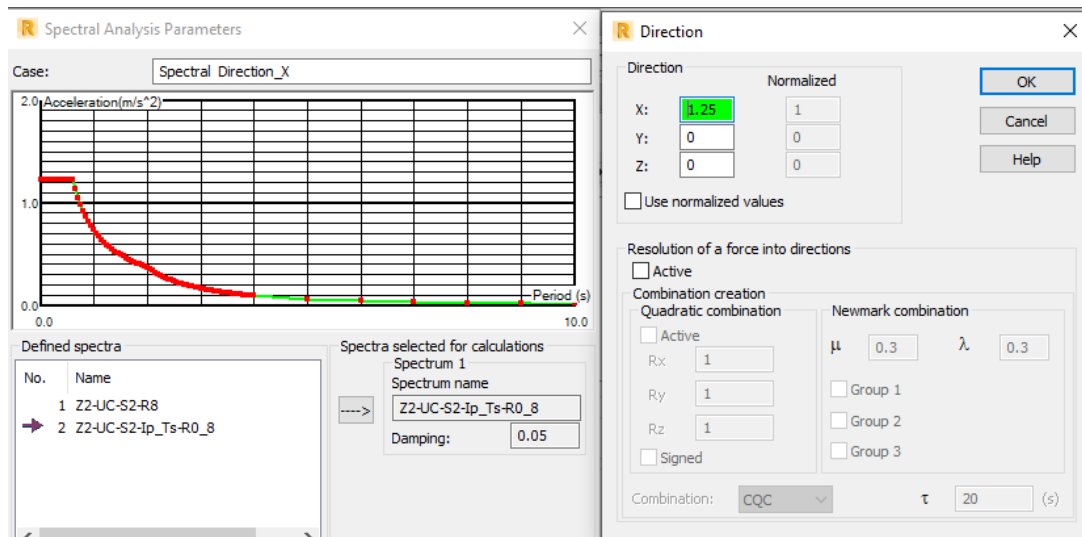


### 6.2.9. Verificación espectral de diseño

Al haber sido ejecutados los preanálisis para los sistemas estructurales SEA y SED, habiéndose determinado los factores de amplificación por sus irregularidades en X e Y, y calculándose los factores de amplificación, consiguientemente se definieron los espectros sísmicos de diseño que se emplearían en los análisis propiamente dichos de esta investigación y así evaluar las variables de cada caso. Por lo cual se pasó a implementar esta información de entrada hacia el software ARSAP 2022.

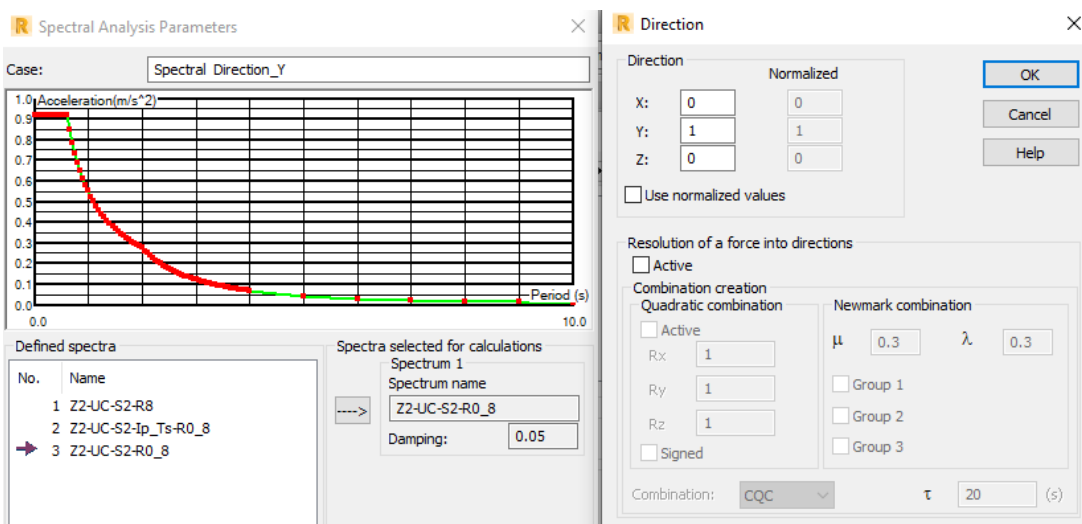
**Figura III- 34**

*Amplificación del espectro sísmico de diseño en dirección X para sistemas Aporticados, en ARSAP 2022*



**Figura III- 35**

*Amplificación del espectro sísmico de diseño en dirección Y para sistemas Aporticados, en ARSAP 2022*

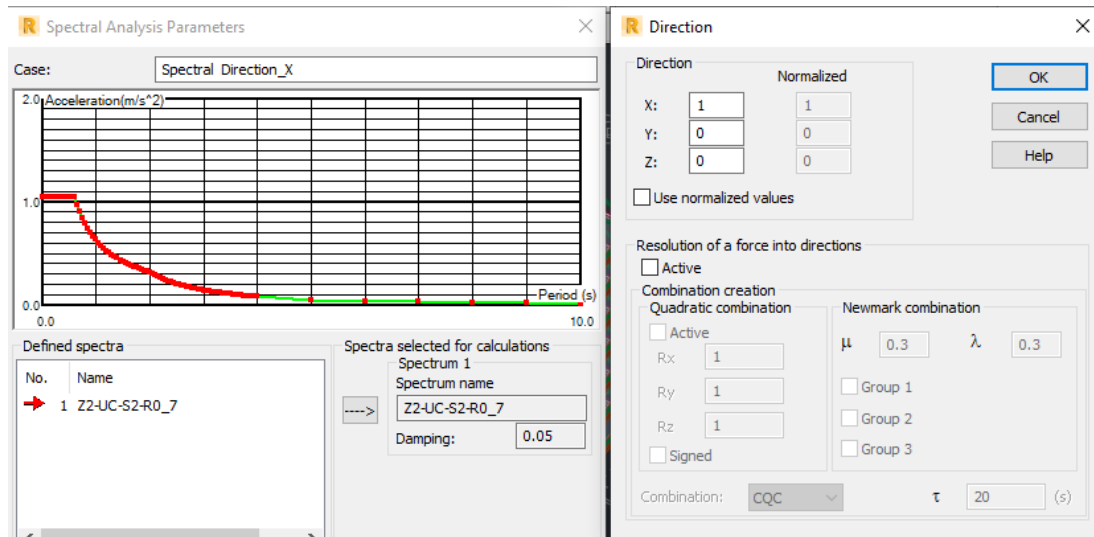






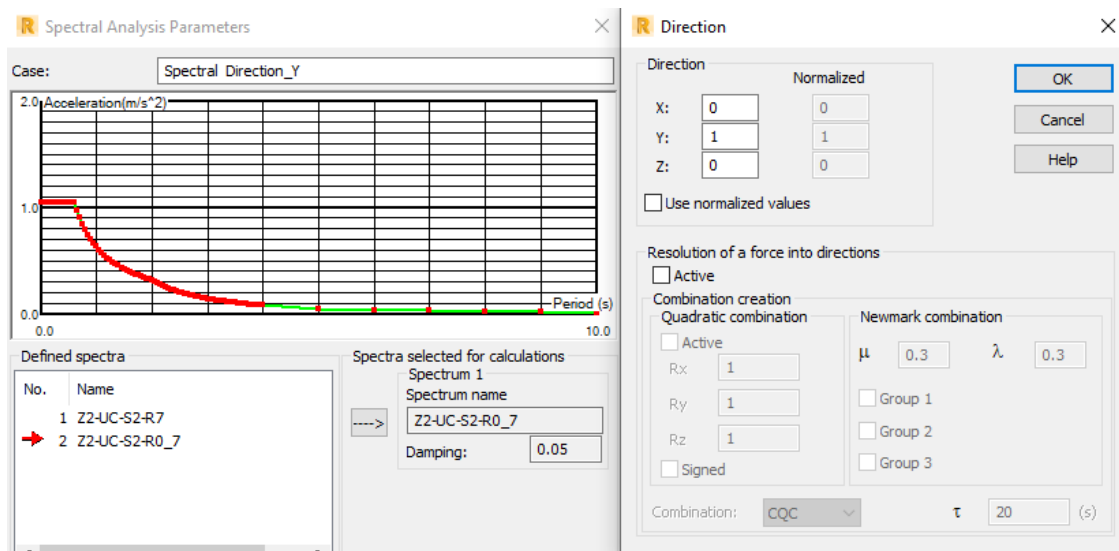
**Figura III- 36**

*Amplificación del espectro sísmico de diseño en dirección X para sistemas Duales, en ARSAP 2022*



**Figura III- 37**

*Amplificación del espectro sísmico de diseño en dirección Y para sistemas Duales, en ARSAP 2022*



### 6.2.10. Corrido de los análisis

Se procede con el inicio del cálculo estructural por métodos numéricos y asistido por computador mediante el software estipulado.



## Capítulo IV: Resultados de la tesis



## 1. Nomenclatura de Casos de Estudio

**SEA:** Sistema estructural Aporticado convencional

**SED:** Sistema estructural Dual convencional

**SAC:** Sistema estructural con Vigas Acarteladas de Sección Circular

**SAE:** Sistema estructural con Vigas Acarteladas de Sección Elíptica

**SAP:** Sistema estructural con Vigas Acarteladas de Sección Parabólica

**-H1:** Peralte de acartelamiento equivalente a 0.25 veces la altura de entrepiso

**-H2:** Peralte de acartelamiento equivalente a 0.30 veces la altura de entrepiso

**-H3:** Peralte de acartelamiento equivalente a 0.35 veces la altura de entrepiso

**-H4:** Peralte de acartelamiento equivalente a 0.40 veces la altura de entrepiso

**-H5:** Peralte de acartelamiento equivalente a 0.45 veces la altura de entrepiso

**-Na:** Configuración donde todas las vigas del sistema son Vigas Acarteladas

**-Nb:** Configuración donde solo las vigas en dirección X del sistema son Vigas Acarteladas

**-Nc:** Configuración donde solo algunas vigas en dirección X del sistema son Vigas Acarteladas

**-R8:** Casos de sistemas estructurales Aporticados con incorporación de Vigas Acarteladas

**-R7:** Casos de sistemas estructurales Duales con incorporación de Vigas Acarteladas

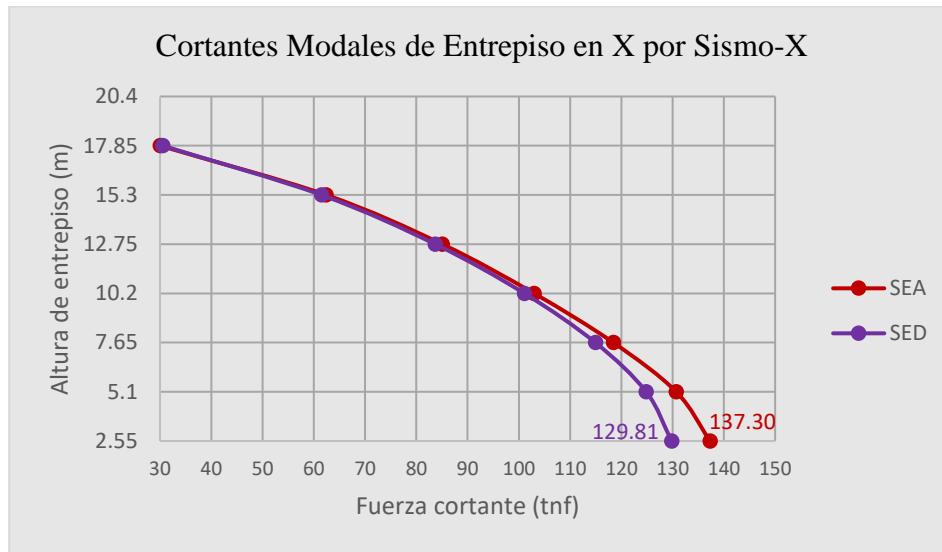


## 2. Cortantes Modales Basales

### 2.1. Cortantes Modales Basales en Sistemas Estructurales Aporticado (SEA) y Dual (SED) convencionales

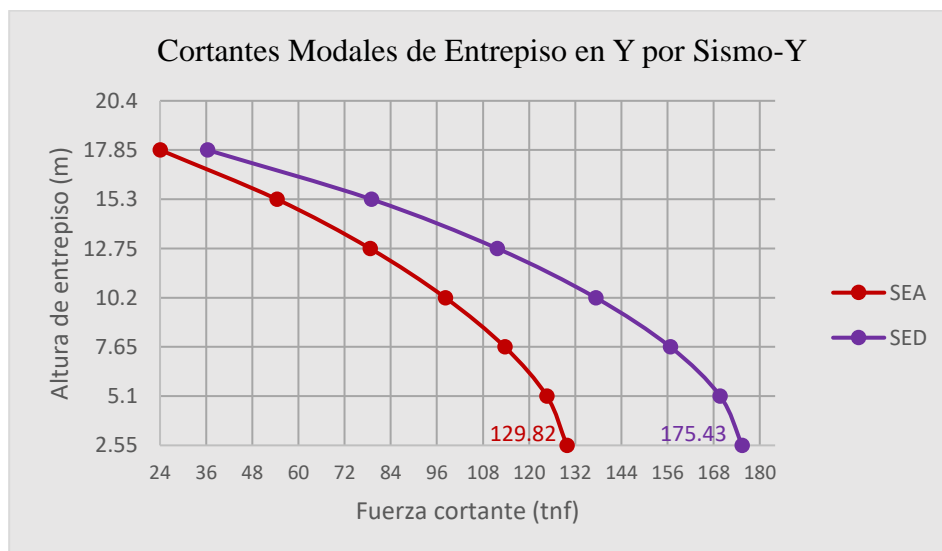
**Figura IV- 1**

*Cortantes de entrepiso en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



**Figura IV- 2**

*Cortantes de entrepiso en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



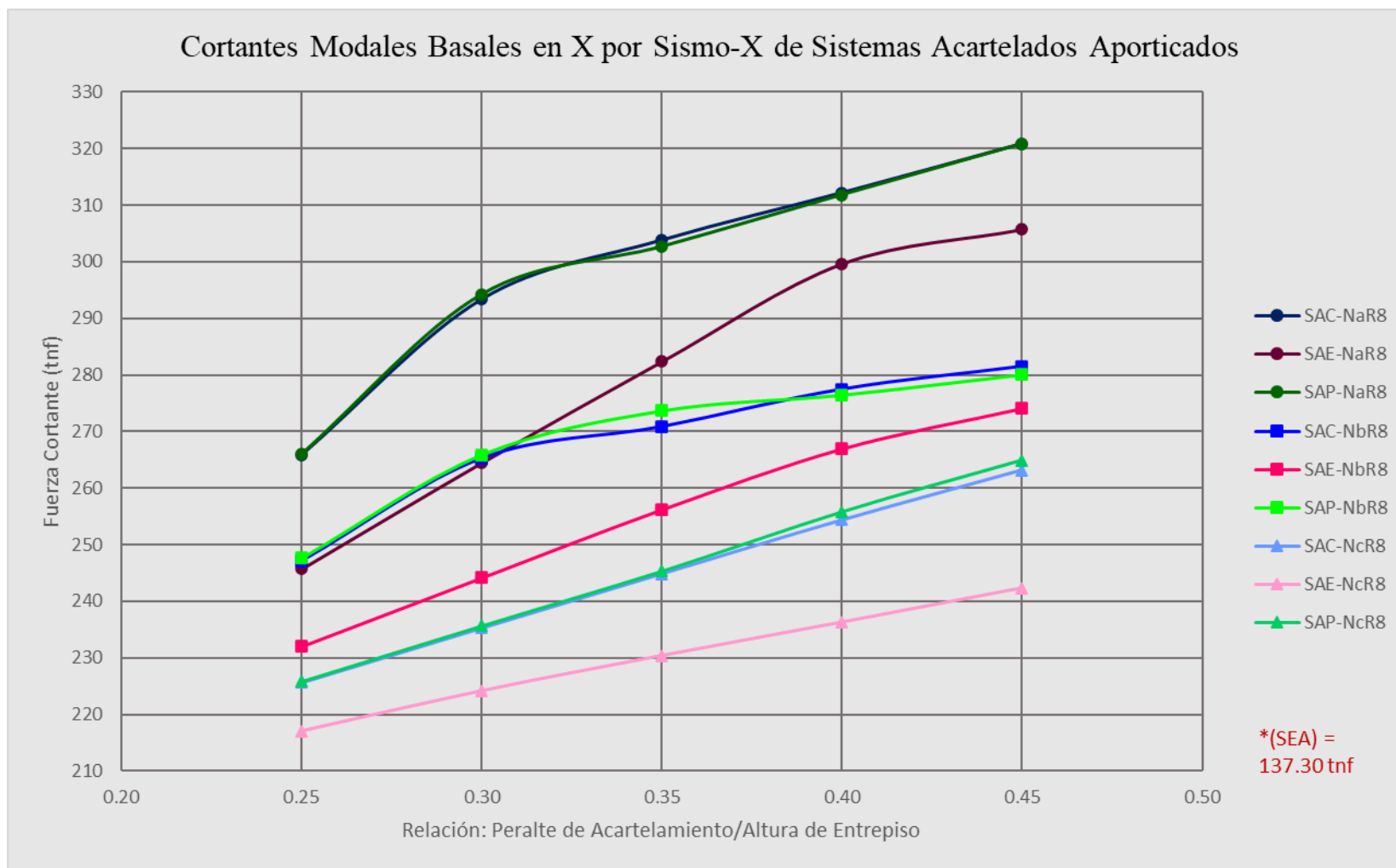
La cortante modal basal en dirección X por Sismo-X de SEA se calculó en un valor de 137.30 tnf, que es un 5.8% mayor que el valor calculado para SED, 129.81 tnf. Por otro lado, la cortante modal basal en dirección Y por Sismo-Y de SEA se calculó en un valor de 129.82 tnf, que es un 26.0% menor que el valor calculado para SED, 175.43 tnf.



## 2.2. Cortantes Modales Basales de Sistemas Estructurales Aportricados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica

Figura IV- 3

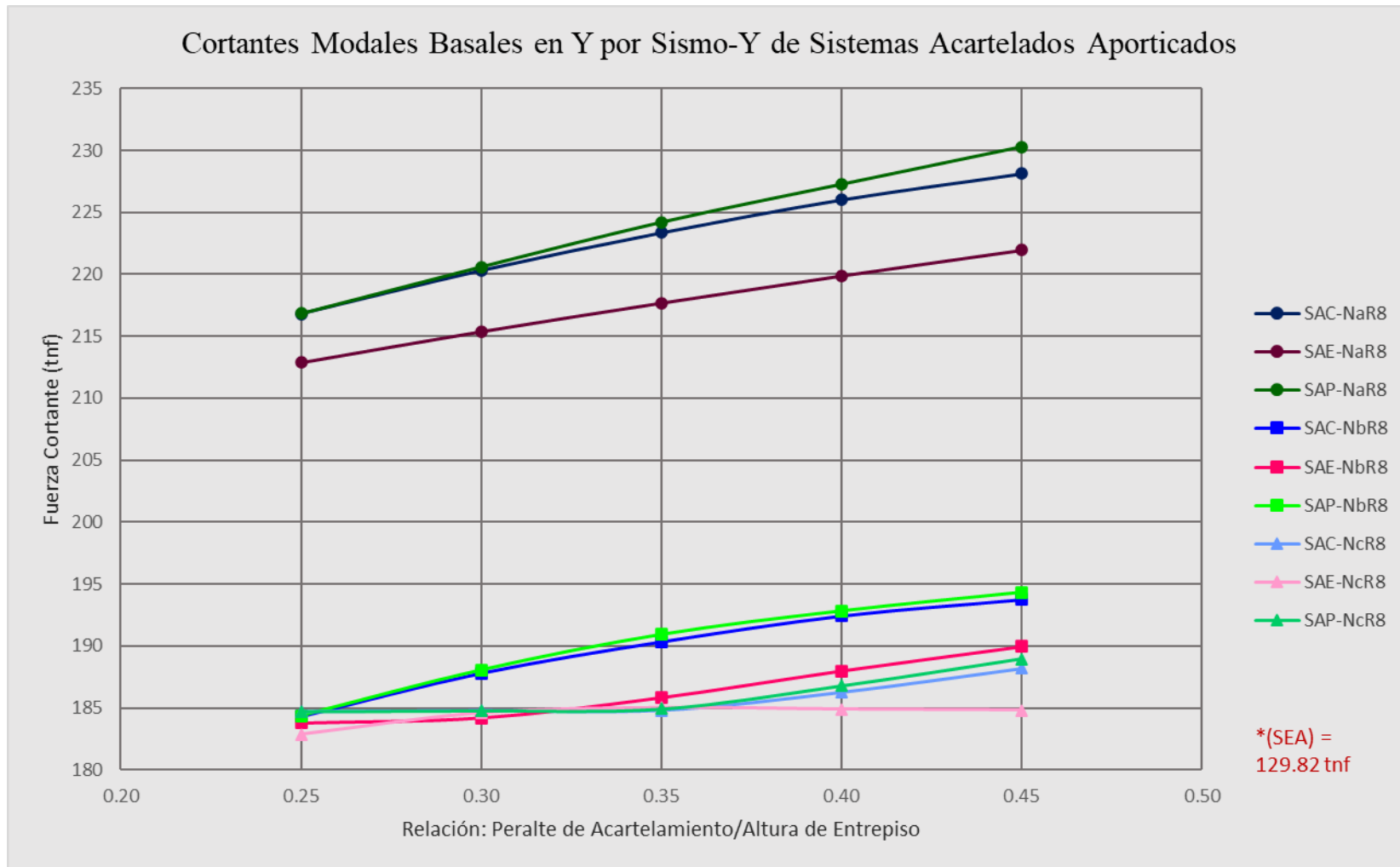
Cortantes basales en dirección X por Sismo-X de Sistemas Aportricados Acartelados





**Figura IV- 4**

*Cortantes basales en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Aportricados Acartelados*





- Para las configuraciones -NaR8 (R8=Aportics.), las Cortantes Basales en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 245.76 tnf para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (o 79.0% más que SEA), hasta 320.91 tnf para SACH<sub>5</sub>NaR8 (o 133.7% más que SEA). Luego, las Cortantes Basales en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 212.88 tnf para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (o 64.0% más que SEA), hasta 230.30 tnf para SAPH<sub>5</sub>NaR8 (o 77.4% más que SEA).
- Para las configuraciones -NbR8, las Cortantes Basales en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 232.06 tnf para SAEH<sub>1</sub>NbR8 (o 69.0% más que SEA), hasta 281.52 tnf para SACH<sub>5</sub>NbR8 (o 105.0% más que SEA). Luego, las Cortantes Basales en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 183.78 tnf para SAEH<sub>1</sub>NbR8 (o 41.6% más que SEA), hasta 194.32 tnf para SAPH<sub>5</sub>NbR8 (o 49.7% más que SEA).
- Para las configuraciones -NcR8, las Cortantes Basales en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 217.05 tnf para SAEH<sub>1</sub>NcR8 (o 58.1% más que SEA), hasta 264.95 tnf para SAPH<sub>5</sub>NcR8 (o 93.0% más que SEA). Luego, las Cortantes Basales en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 182.86 tnf para SAEH<sub>1</sub>NcR8 (o 40.9% más que SEA), hasta 188.93 tnf para SAPH<sub>5</sub>NcR8 (o 45.5% más que SEA).

### ***2.3. Cortantes Modales Basales de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica***

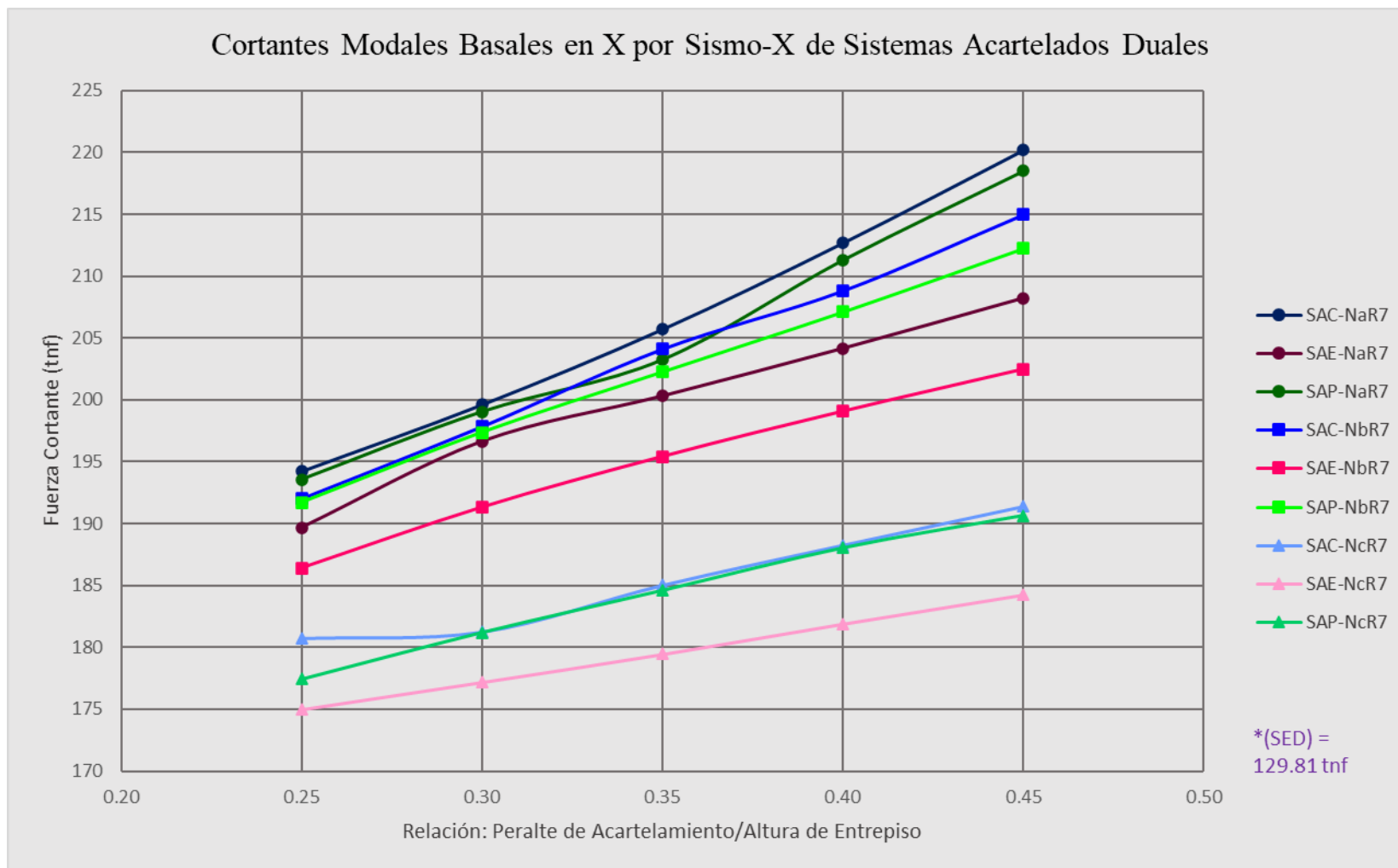
- Para las configuraciones -NaR7 (R7=Duales), las Cortantes Basales en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 189.67 tnf para SAEH<sub>1</sub>NaR7 (o 46.1% más que SED), hasta 220.18 tnf para SACH<sub>5</sub>NaR7 (o 69.6% más que SED). Luego, las Cortantes Basales en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 227.32 tnf para SACH<sub>1</sub>NaR7 (o 29.6% más que SED), hasta 255.72 tnf para SACH<sub>5</sub>NaR7 (o 45.8% más que SED).
- Para las configuraciones -NbR7, las Cortantes Basales en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 186.42 tnf para SAEH<sub>1</sub>NbR7 (o 43.6% más que SED), hasta 214.97 tnf para SACH<sub>5</sub>NbR7 (o 65.6% más que SED). Luego, las Cortantes Basales en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 220.00 tnf para SAEH<sub>2</sub>NbR7 (o 25.4% más que SED), hasta 244.58 tnf para SAPH<sub>5</sub>NbR7 (o 39.4% más que SED).
- Para las configuraciones -NcR7, las Cortantes Basales en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 174.99 tnf para SAEH<sub>1</sub>NcR7 (o 34.8% más que SED), hasta 191.42 tnf para SACH<sub>5</sub>NcR7 (o 47.5% más que SED). Luego, las Cortantes Basales en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 222.30 tnf para SACH<sub>3</sub>NcR7 (o 26.7% más que SED), hasta 231.66 tnf para SAPH<sub>5</sub>NcR7 (o 32.1% más que SED).





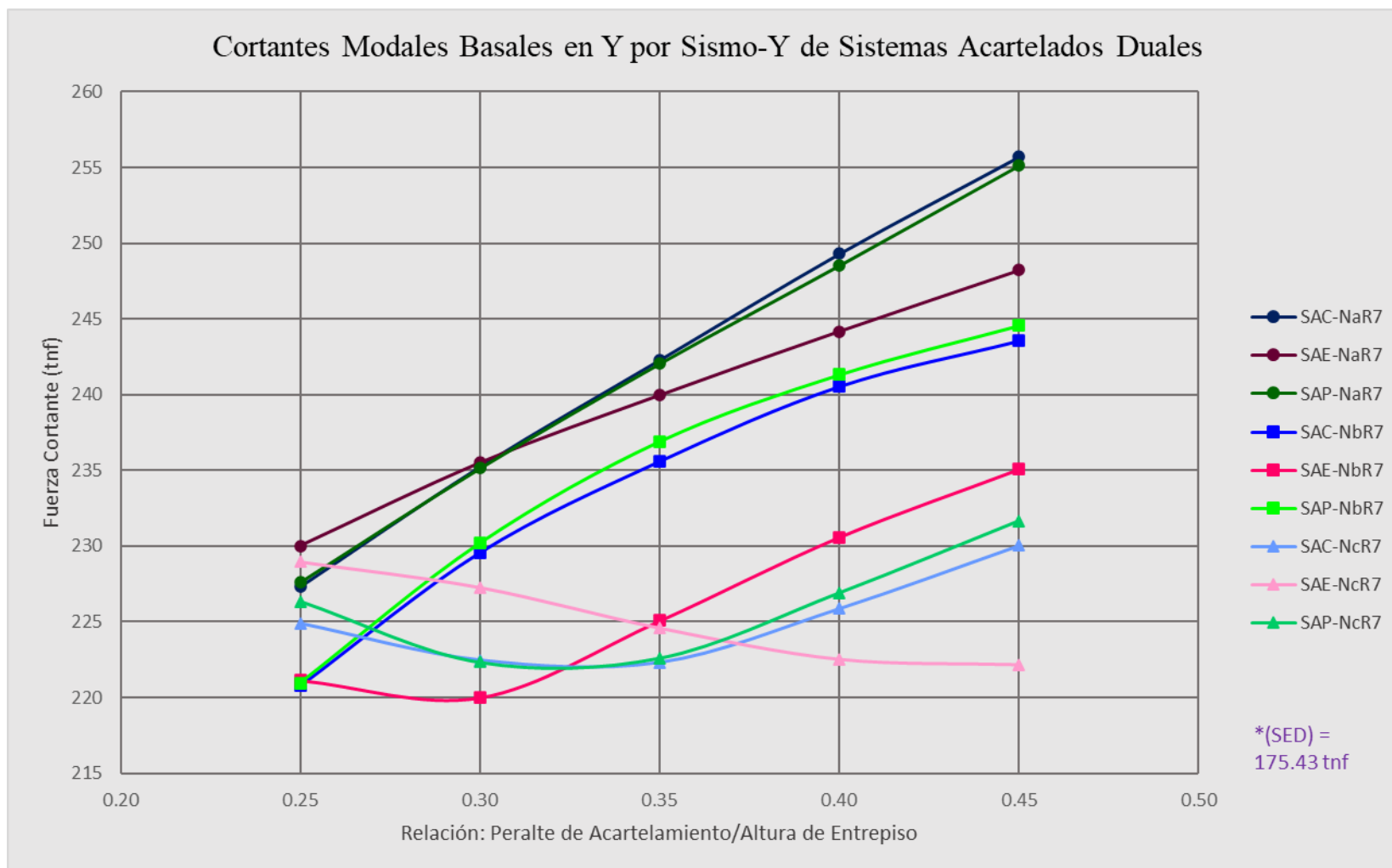
Figura IV- 5

Cortantes basales en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados





**Figura IV- 6**  
*Cortantes basales en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*



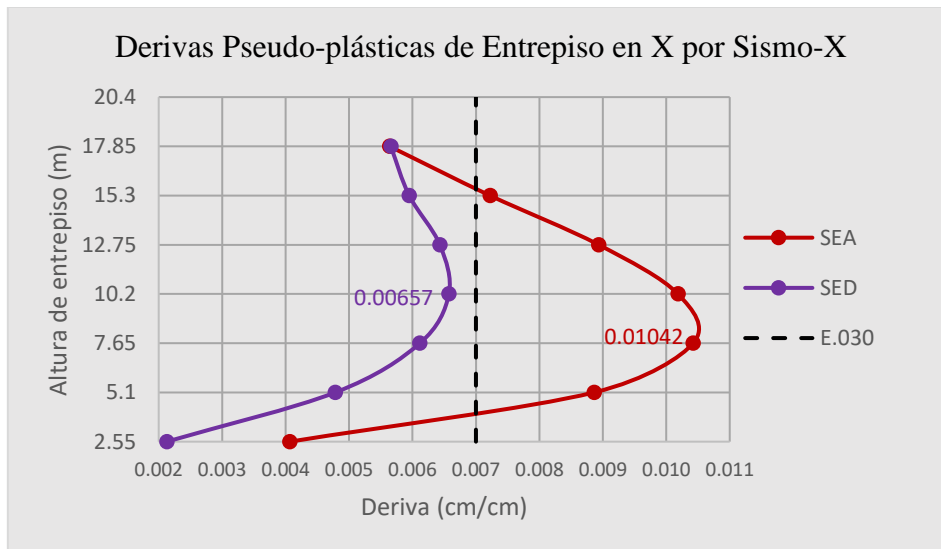


### 3. Máximas Derivas Pseudo-plásticas

#### 3.1. Máximas Derivas Pseudo-plásticas de Sistemas Estructurales Apertado y Dual convencionales

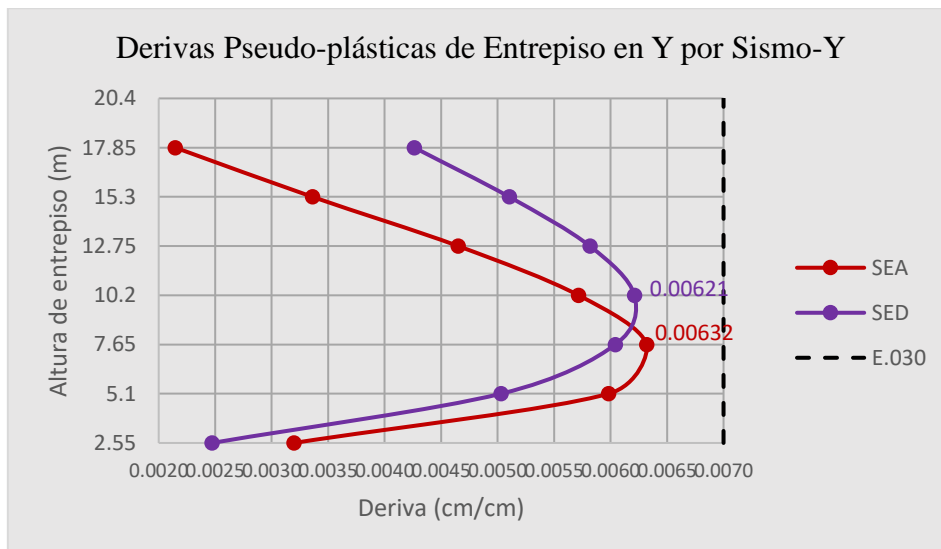
**Figura IV- 7**

*Derivas pseudo-plásticas de entrepiso en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



**Figura IV- 8**

*Derivas pseudo-plásticas de entrepiso en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



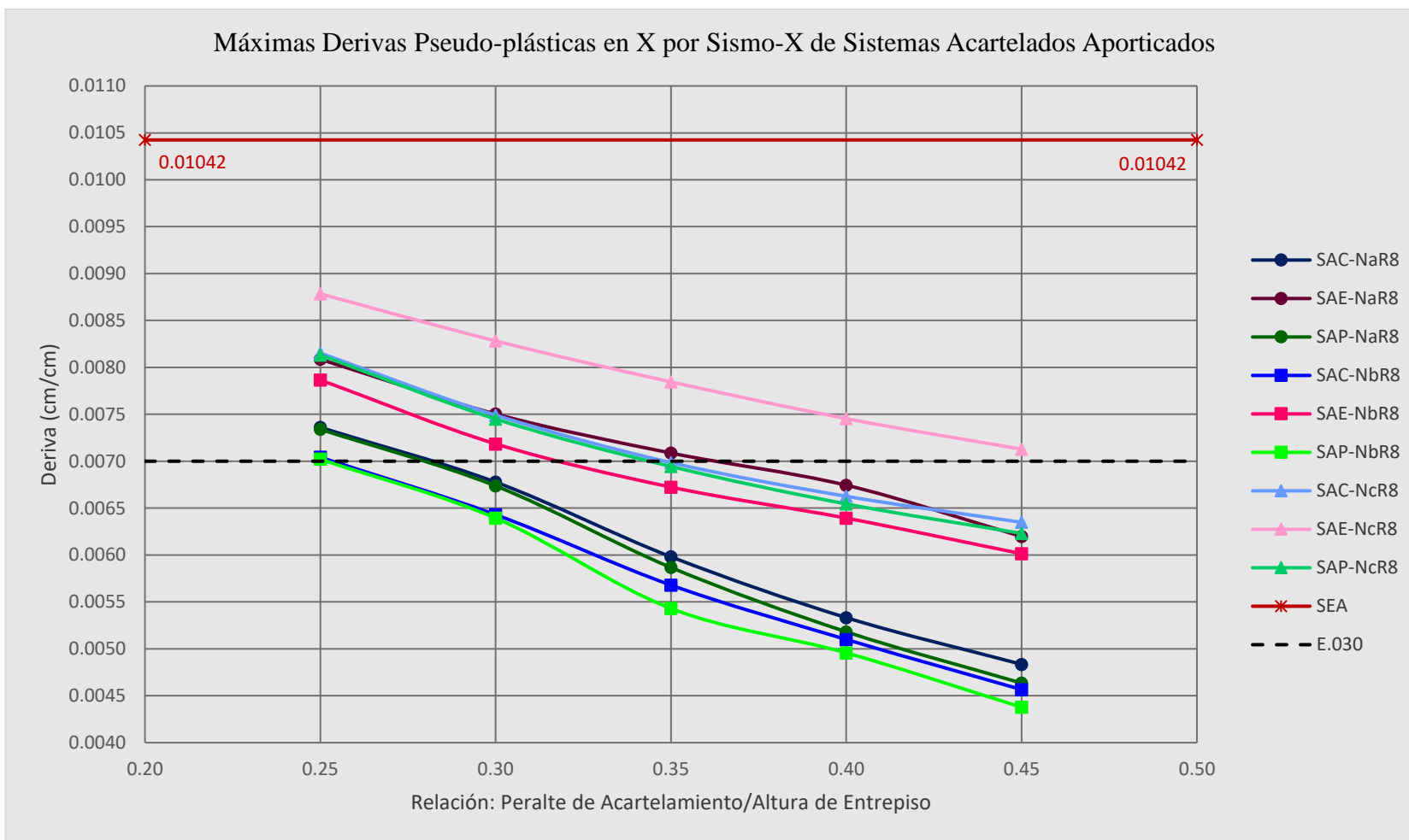
La máxima deriva pseudo-plástica en dirección X por Sismo-X de SEA se calculó en un valor de 0.01042, que es un 58.6% mayor que el valor calculado para SED, de 0.00657. Por otro lado, la máxima deriva pseudo-plástica en dirección Y por Sismo-Y de SEA se calculó en un valor de 0.00632, que es un 1.8% mayor que el valor calculado para SED, de 0.00621.



### 3.2. Máximas Derivas Pseudo-plásticas de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica

Figura IV- 9

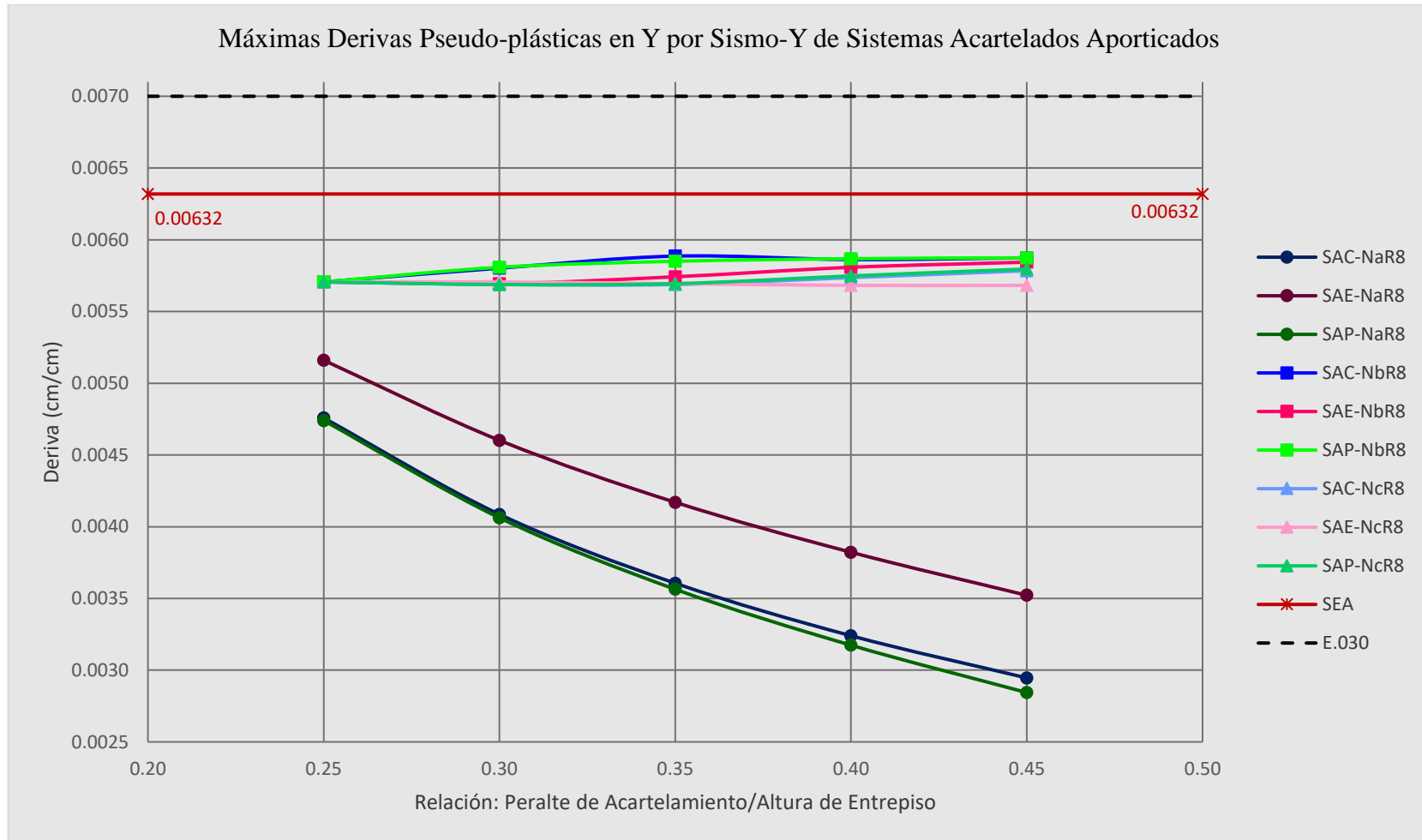
Máximas derivas pseudo-plásticas en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados





**Figura IV- 10**

*Máximas derivas pseudo-plásticas en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados*





- Para las configuraciones -NaR8 (R8=Aporticadas), las Máximas Derivas en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 0.00809 para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (22.4% menos que SEA), hasta 0.00463 para SAPH<sub>5</sub>NaR8 (55.6% menos que SEA). Luego, las Máximas Derivas en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 0.00516 para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (18.4% menos que SEA), hasta 0.00284 para SAPH<sub>5</sub>NaR8 (55.1% menos que SEA).
- Para las configuraciones -NbR8, las Máximas Derivas en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 0.00787 para SAEH<sub>1</sub>NbR8 (24.5% menos que SEA), hasta 0.00438 para SAPH<sub>5</sub>NbR8 (58.0% menos que SEA). Luego, las Máximas Derivas en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 0.00569 para SAEH<sub>2</sub>NbR8 (10.0% menos que SEA), hasta 0.00589 para SACH<sub>3</sub>NbR8 (6.8% menos que SEA).
- Para las configuraciones -NcR8, las Máximas Derivas en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 0.00878 para SAEH<sub>1</sub>NcR8 (15.7% menos que SEA), hasta 0.00623 para SAPH<sub>5</sub>NcR8 (40.2% menos que SEA). Luego, las Máximas Derivas en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 0.00569 para SACH<sub>2</sub>NcR8 (10.0% menos que SEA), hasta 0.00580 para SAPH<sub>5</sub>NcR8 (8.2% menos que SEA).

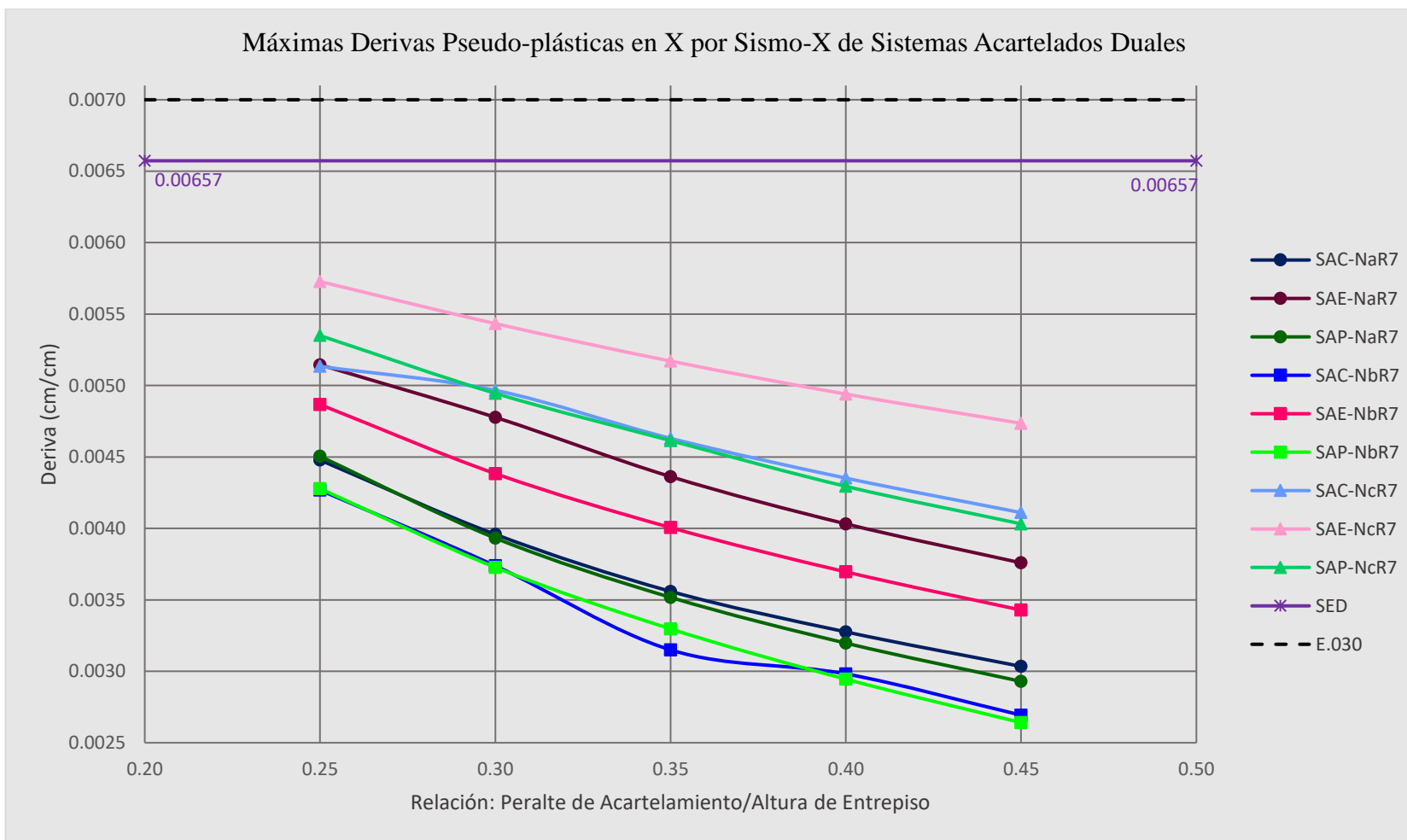
### ***3.3. Máximas Derivas Pseudo-plásticas de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica***

- Para las configuraciones -NaR7 (R7=Duales), las Máximas Derivas en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 0.00515 para SAEH<sub>1</sub>NaR7 (21.6% menos que SED), hasta 0.00293 para SAPH<sub>5</sub>NaR7 (55.4% menos que SED). Luego, las Máximas Derivas en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 0.00392 para SAEH<sub>1</sub>NaR7 (36.9% menos que SED), hasta 0.00237 para SAPH<sub>5</sub>NaR7 (61.8% menos que SED).
- Para las configuraciones -NbR7, las Máximas Derivas en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 0.00487 para SAEH<sub>1</sub>NbR7 (25.9% menos que SED), hasta 0.00264 para SAPH<sub>5</sub>NbR7 (59.8% menos que SED). Luego, las Máximas Derivas en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 0.00465 para SAEH<sub>2</sub>NbR7 (25.1% menos que SED), hasta 0.00500 para SAPH<sub>5</sub>NbR7 (19.5% menos que SED).
- Para las configuraciones -NcR7, las Máximas Derivas en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 0.00573 para SAEH<sub>1</sub>NcR7 (12.8% menos que SED), hasta 0.00403 para SAPH<sub>5</sub>NcR7 (38.7% menos que SED). Luego, las Máximas Derivas en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 0.00471 para SACH<sub>2</sub>NcR7 (24.2% menos que SED), hasta 0.00487 para SAPH<sub>5</sub>NcR7 (21.6% menos que SED).



**Figura IV- 11**

*Máximas derivas pseudo-plásticas en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*

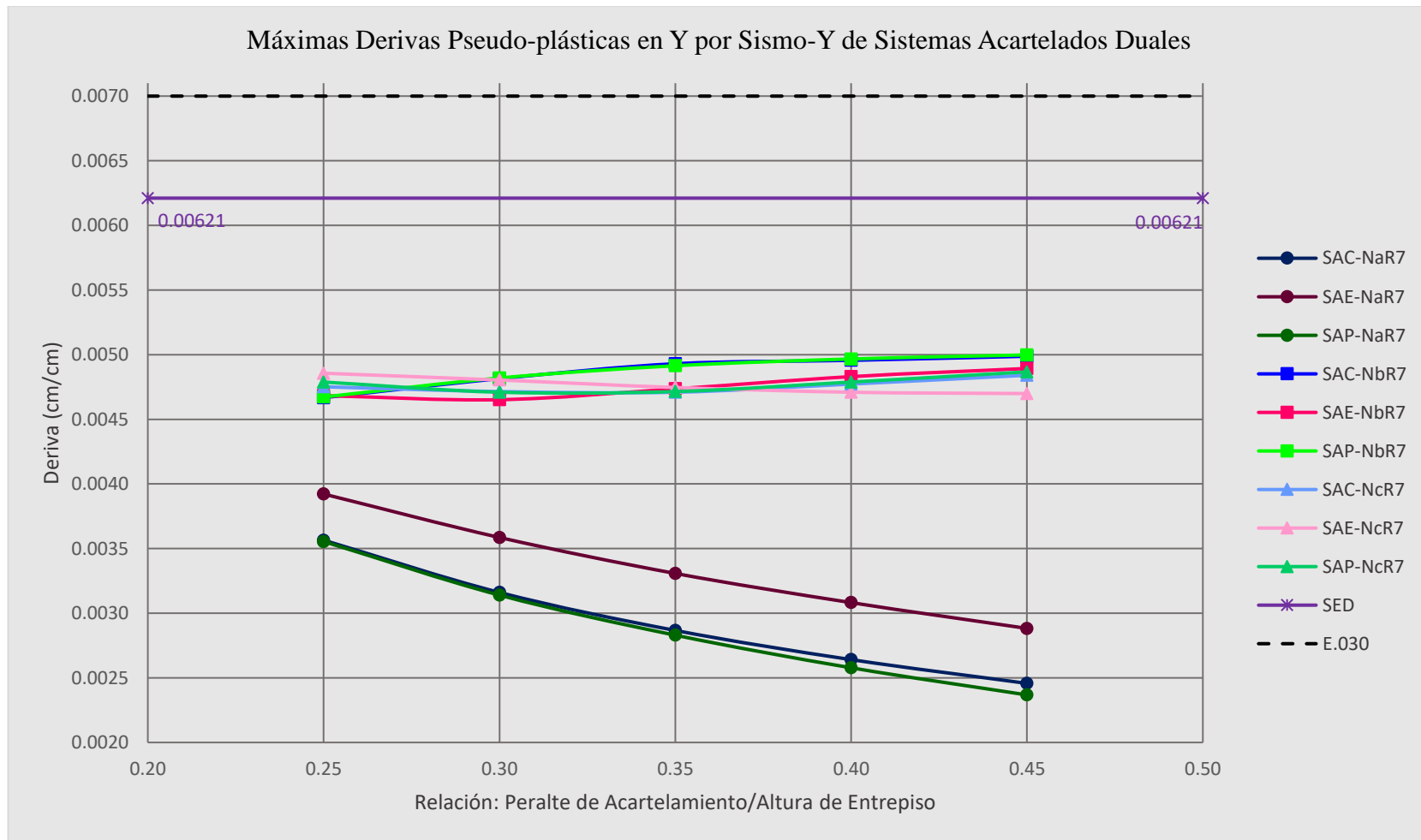






**Figura IV- 12**

*Máximas derivas pseudo-plásticas en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*



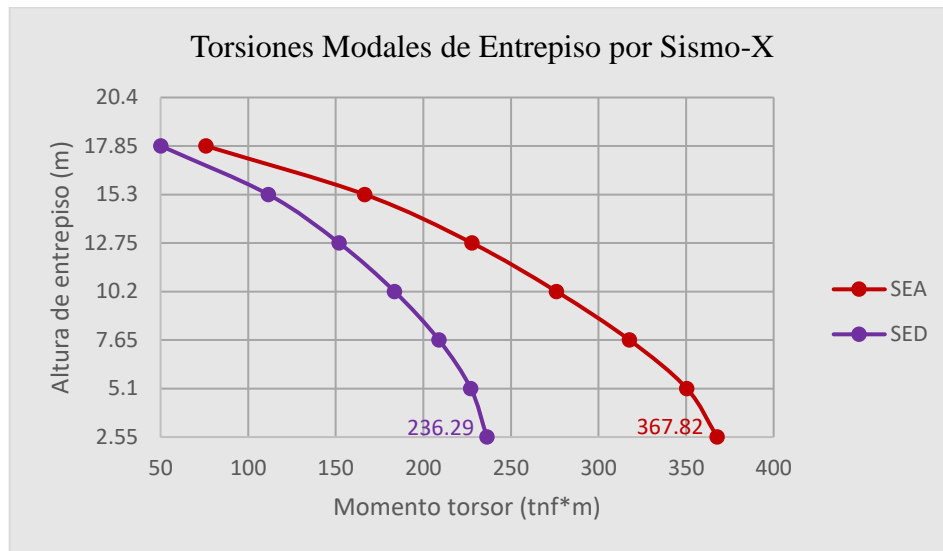


## 4. Torsiones Modales Basales

### 4.1. Torsiones Modales Basales de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales

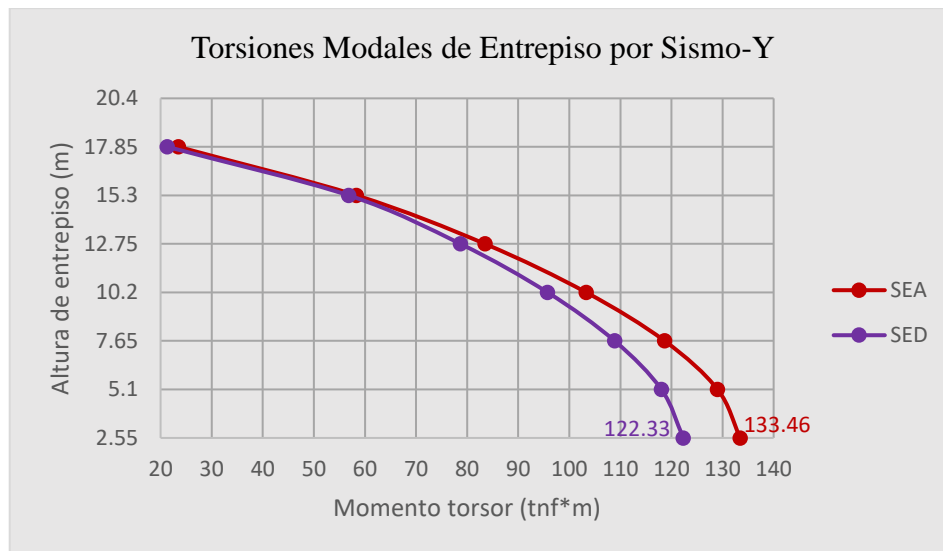
**Figura IV- 13**

*Torsiones modales de entrepiso por Sismo-X de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



**Figura IV- 14**

*Torsiones modales de entrepiso por Sismo-Y de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



La torsión modal basal en dirección X por Sismo-X de SEA se calculó en un valor de 367.82 tnf\*m, que es un 55.7% mayor que el valor calculado para SED, de 236.29 tnf\*m. Por otro lado, la torsión modal basal en dirección Y por Sismo-Y de SEA se calculó en un valor de 133.46 tnf\*m, que es un 9.1% mayor que el valor calculado para SED, de 122.33 tnf\*m.



#### 4.2. Torsiones Modales Basales de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica

Figura IV- 15

Torsiones modales basales por Sismo-X de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados

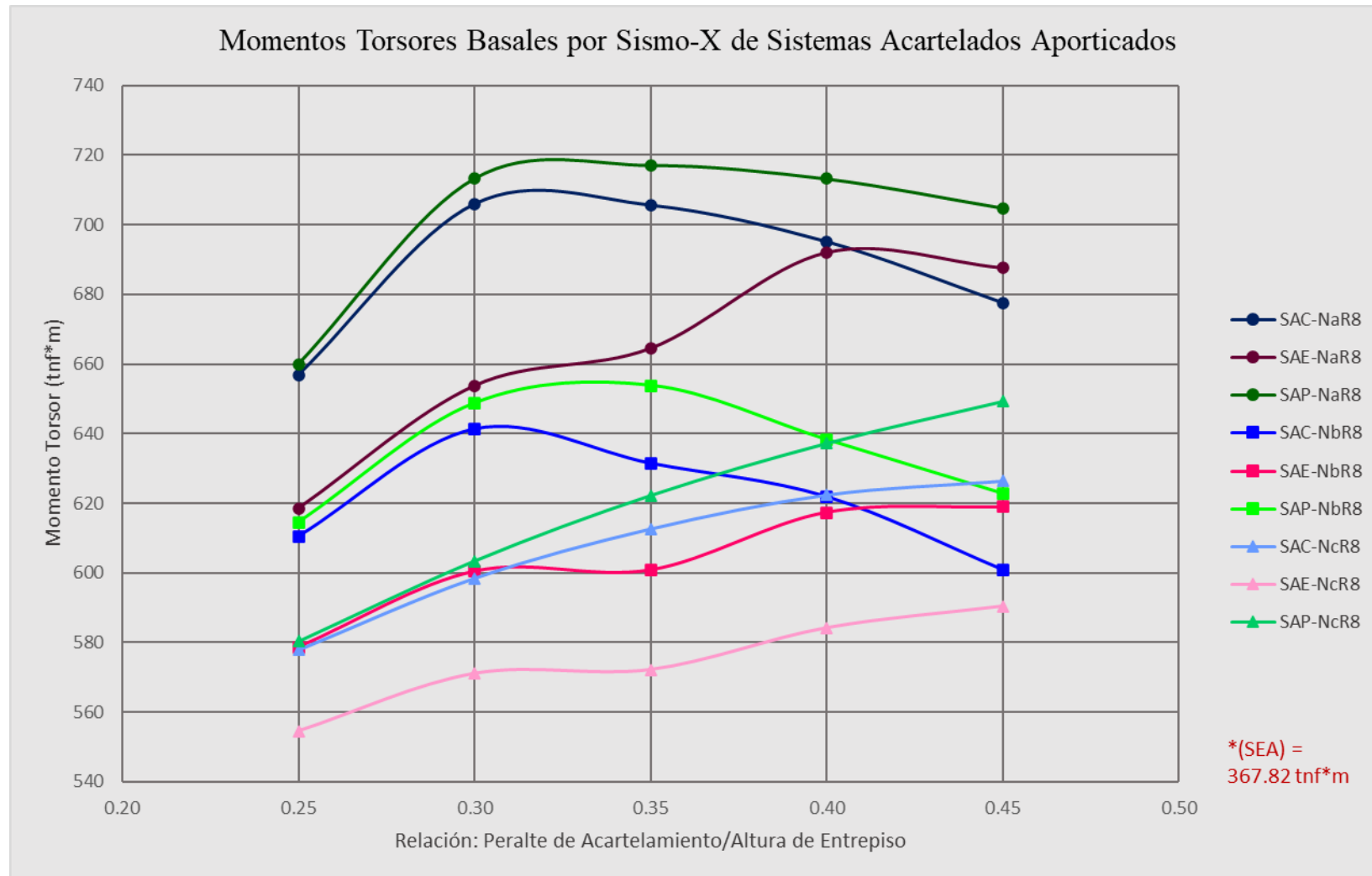
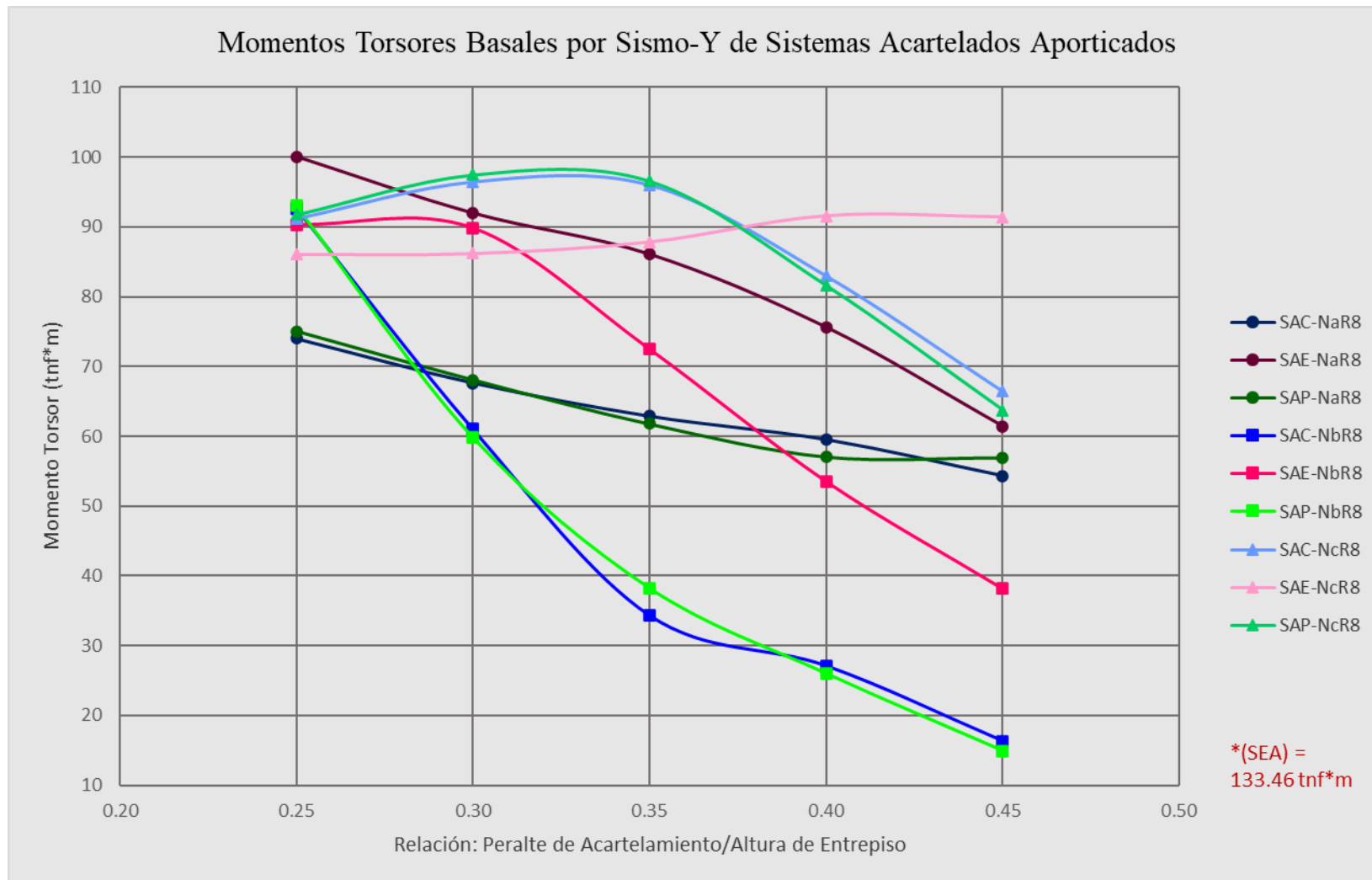




Figura IV- 16

Torsiones modales basales por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados





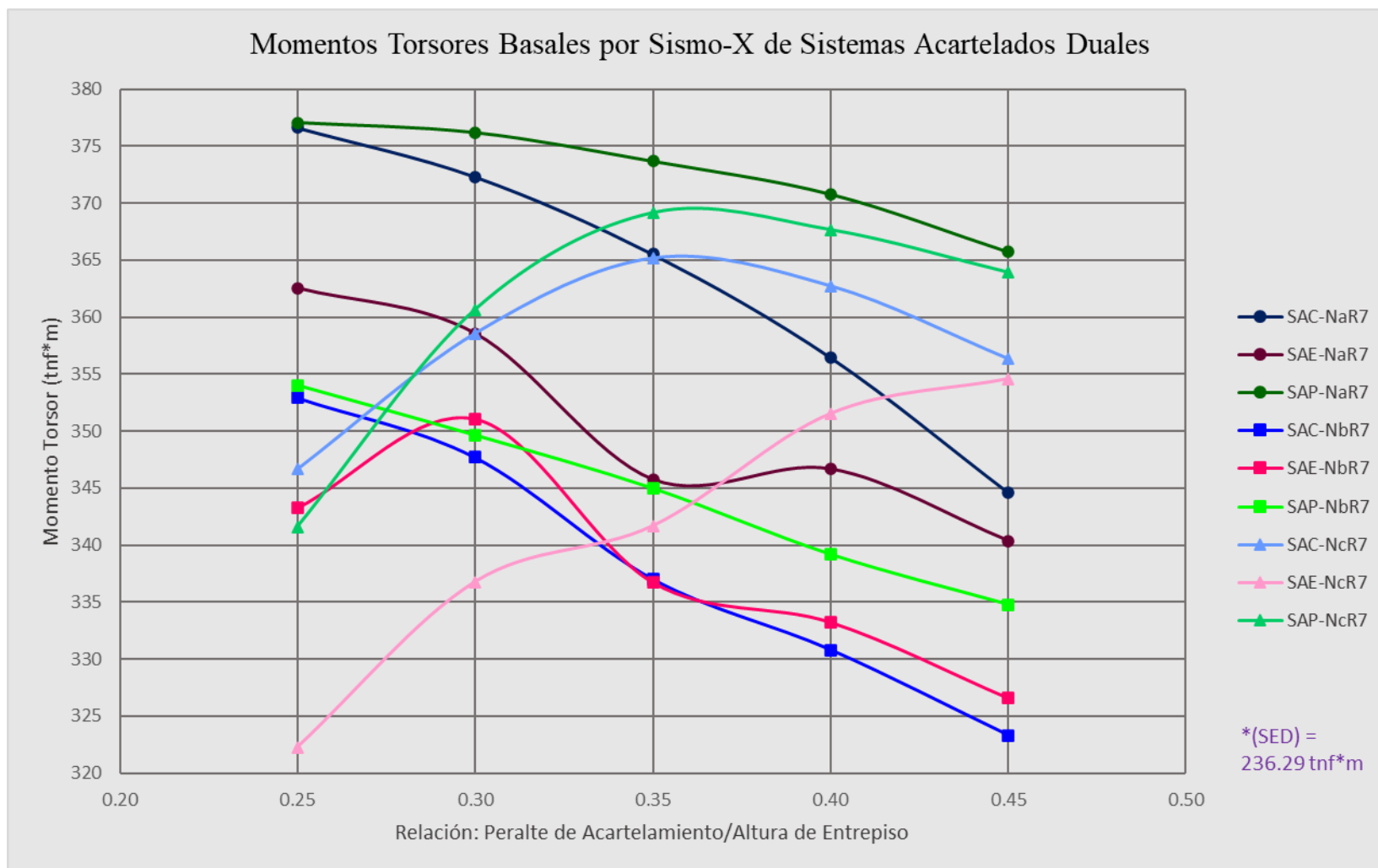
- Para las configuraciones -NaR8 (R8=Aporticados), las Torsiones Basales por Sismo-X oscilan entre valores desde 618.49 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (68.2% más que SEA), hasta 717.13 tnf\*m para SAPH<sub>3</sub>NaR8 (95.0% más que SEA). Luego, las Torsiones Basales por Sismo-Y oscilan entre valores desde 100.03 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (25.0% menos que SEA), hasta 54.32 tnf\*m para SACH<sub>5</sub>NaR8 (59.3% menos que SEA).
- Para las configuraciones -NbR8, las Torsiones Basales por Sismo-X oscilan entre valores desde 578.65 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NbR8 (57.3% más que SEA), hasta 653.83 tnf\*m para SAPH<sub>3</sub>NbR8 (77.8% más que SEA). Luego, las Torsiones Basales por Sismo-Y oscilan entre valores desde 93.03 tnf\*m para SAPH<sub>1</sub>NbR8 (30.3% menos que SEA), hasta 14.87 tnf\*m para SAPH<sub>5</sub>NbR8 (88.9% menos que SEA).
- Para las configuraciones -NcR8, las Torsiones Basales por Sismo-X oscilan entre valores desde 554.57 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NcR8 (50.8% más que SEA), hasta 649.29 tnf\*m para SAPH<sub>5</sub>NcR8 (76.5% más que SEA). Luego, las Torsiones Basales por Sismo-Y oscilan entre valores desde 97.49 tnf\*m para SAPH<sub>2</sub>NcR8 (27.0% menos que SEA), hasta 63.76 tnf\*m para SAPH<sub>5</sub>NcR8 (52.2% menos que SEA).

#### **4.3. Torsiones Modales Basales de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica**

- Para las configuraciones -NaR7 (R7=Duales), las Torsiones Basales por Sismo-X oscilan entre valores desde 377.04 tnf\*m para SAPH<sub>1</sub>NaR7 (59.6% más que SED), hasta 340.36 tnf\*m para SAEH<sub>5</sub>NaR7 (44.0% más que SED). Luego, las Torsiones Basales por Sismo-Y oscilan entre valores desde 392.76 tnf\*m para SAPH<sub>1</sub>NaR7 (221.1% más que SED), hasta 289.42 tnf\*m para SACH<sub>5</sub>NaR7 (136.6% más que SED).
- Para las configuraciones -NbR7, las Torsiones Basales por Sismo-X oscilan entre valores desde 353.99 tnf\*m para SAPH<sub>1</sub>NbR7 (49.8% más que SED), hasta 323.30 tnf\*m para SACH<sub>5</sub>NbR7 (36.8% más que SED). Luego, las Torsiones Basales por Sismo-Y oscilan entre valores desde 357.65 tnf\*m para SAPH<sub>1</sub>NbR7 (192.4% más que SED), hasta 321.09 tnf\*m para SACH<sub>5</sub>NbR7 (162.5% más que SED).
- Para las configuraciones -NcR7, las Torsiones Basales por Sismo-X oscilan entre valores desde 322.26 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NcR7 (36.4% más que SED), hasta 369.15 tnf\*m para SAPH<sub>3</sub>NcR7 (56.2% más que SED). Luego, las Torsiones Basales por Sismo-Y oscilan entre valores desde 369.33 tnf\*m para SAPH<sub>2</sub>NcR7 (201.9% más que SED), hasta 352.46 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NcR7 (188.1% más que SED).



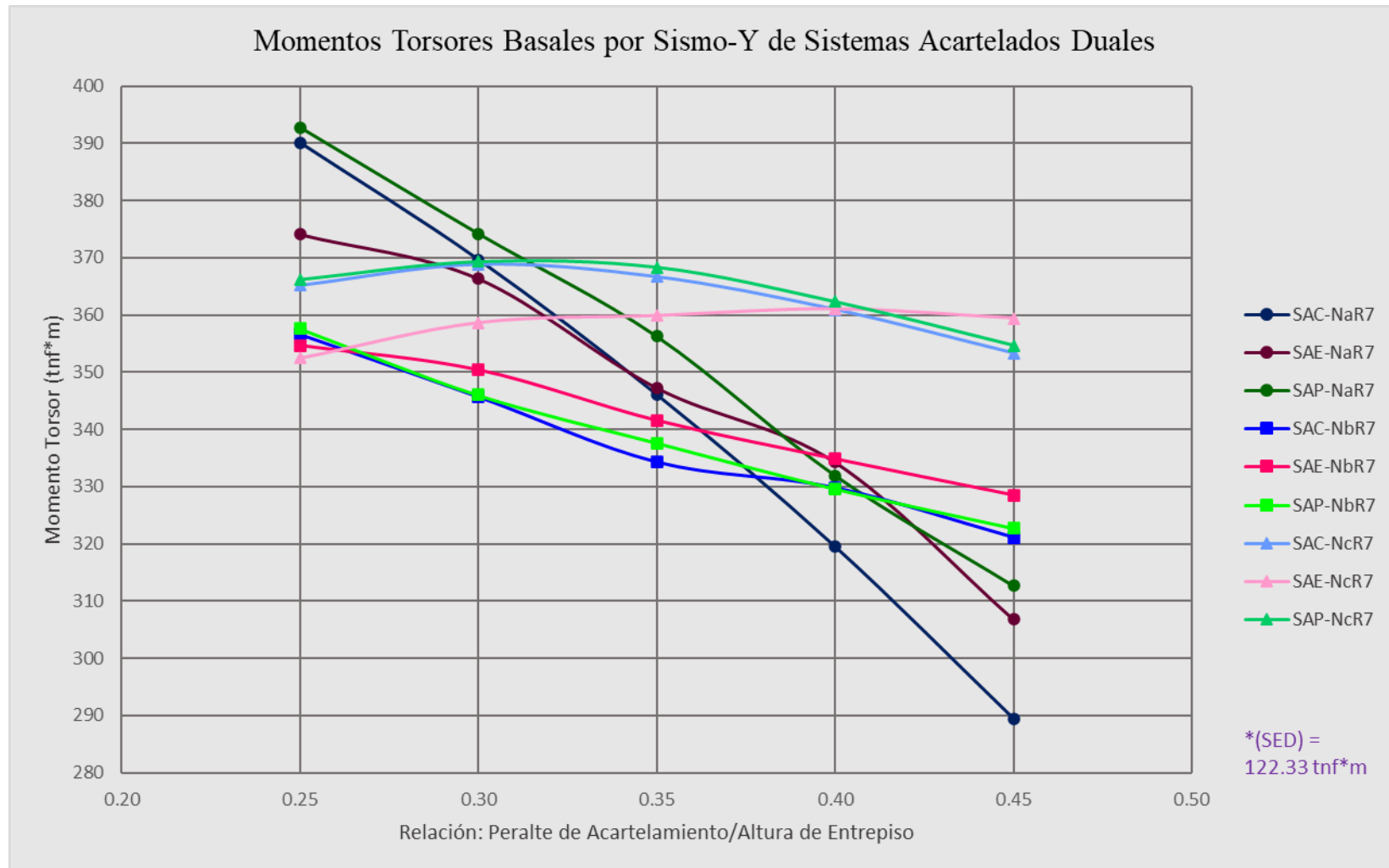
**Figura IV- 17**  
*Torsiones modales basales por Sismo-X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*





**Figura IV- 18**

*Torsiones modales basales por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*



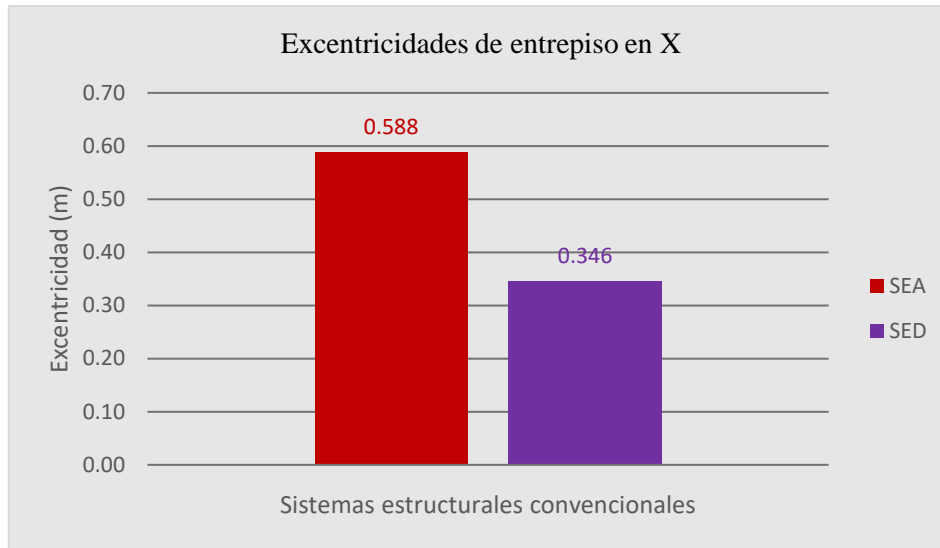


## 5. Excentricidades de entrepiso

### 5.1. Excentricidades de entrepiso de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales

**Figura IV- 19**

*Excentricidades de entrepiso en eje X de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



**Figura IV- 20**

*Excentricidades de entrepiso en eje Y de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



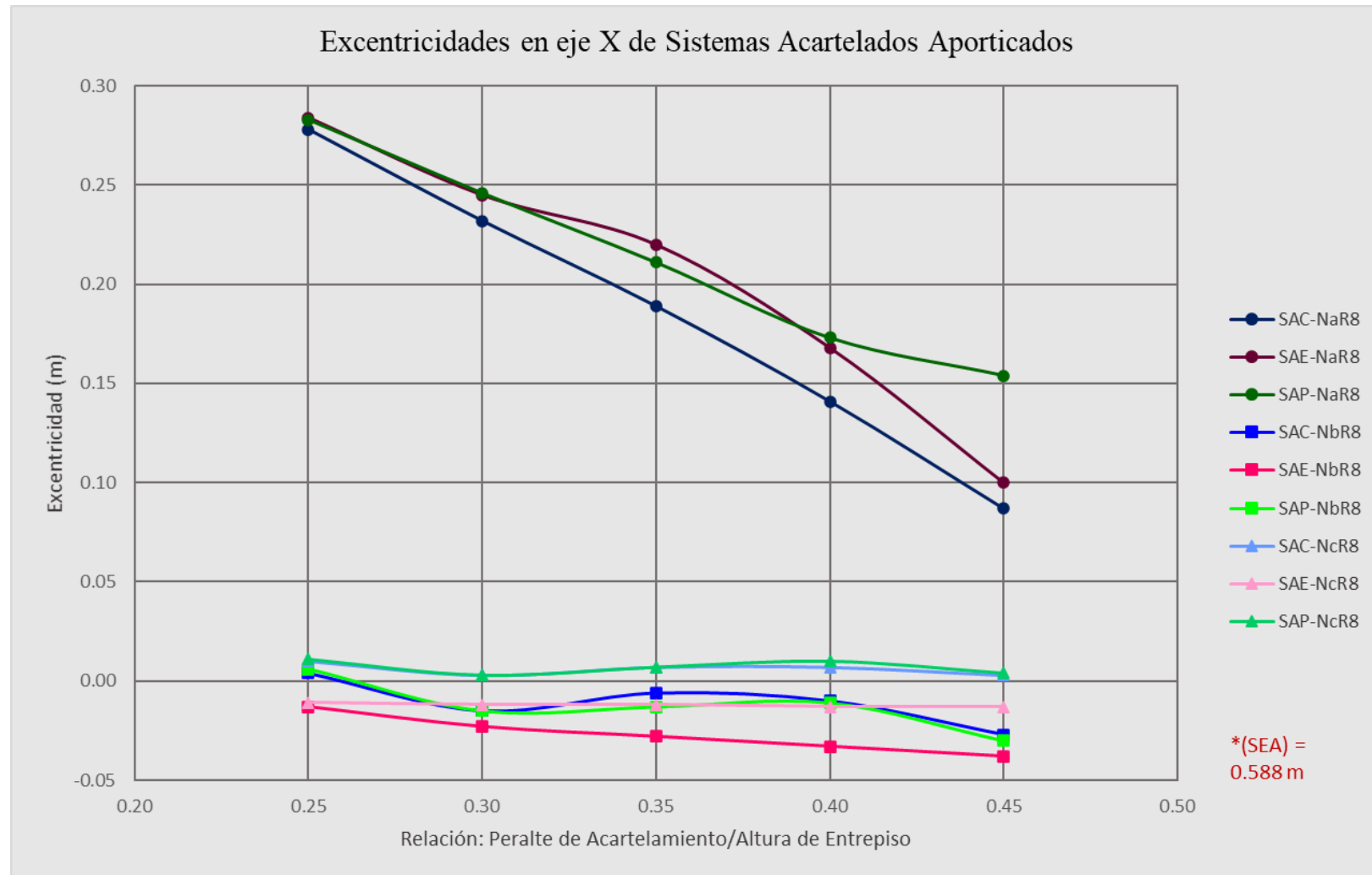
La excentricidad de entrepiso en el eje X de SEA se calculó en un valor de 0.588 m, que es un 70.0% mayor que el valor calculado para SED, de 0.346 m. Por otro lado, la excentricidad de entrepiso en el eje Y de SEA se calculó en un valor de 2.517 m, que es un 45.9% mayor que el valor calculado para SED, de 1.725 m.



## 5.2. Excentricidades de entrepiso de Sistemas Estructurales Aportados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica

Figura IV- 21

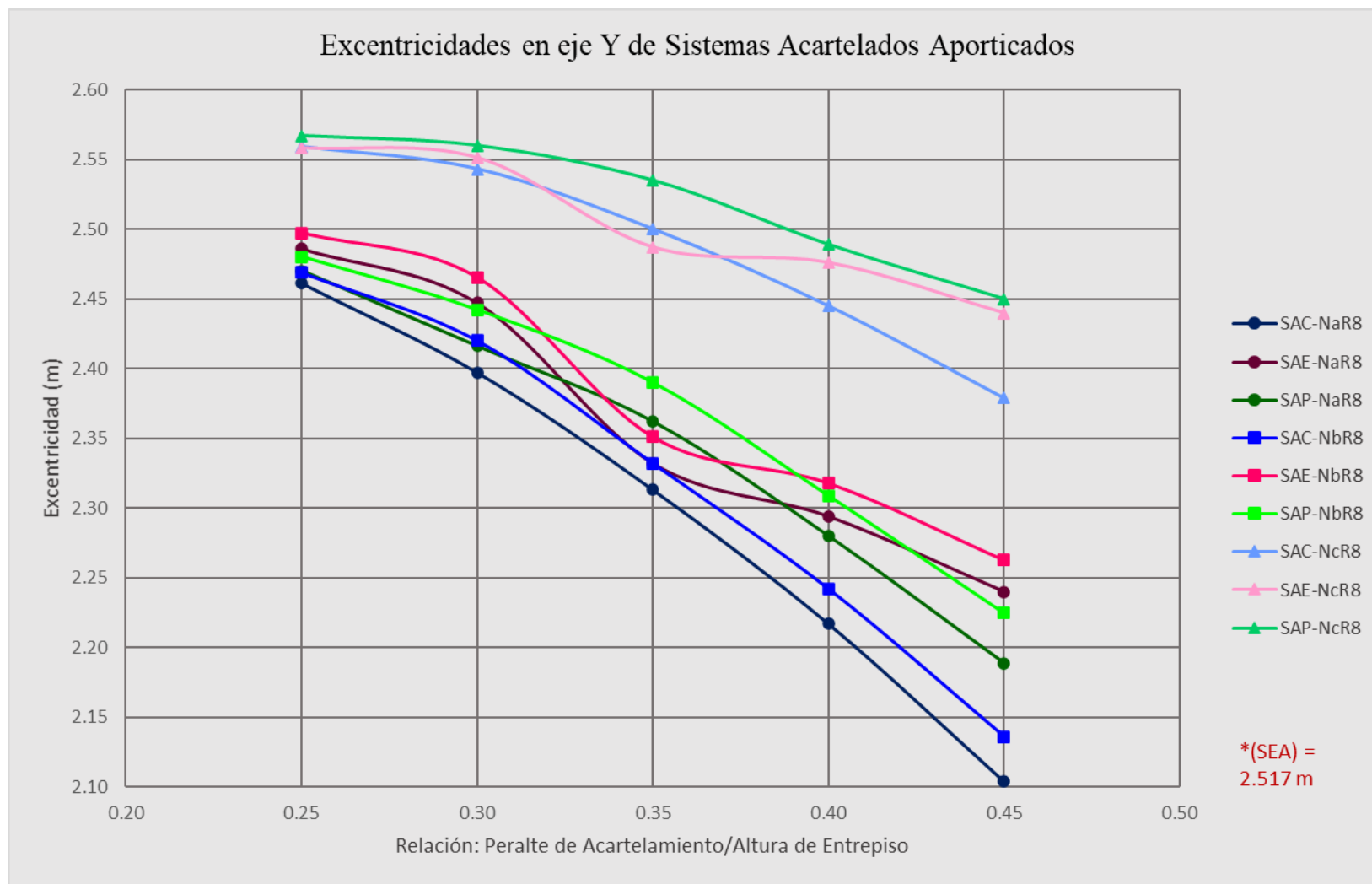
Excentricidades de entrepiso en eje X de Sistemas Estructurales Aportados Acartelados





**Figura IV- 22**

*Excentricidades de entrepiso en eje Y de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados*





- Para las configuraciones -NaR8 (R8 = Aporticadas), las Excentricidades en el eje X oscilan entre valores desde 0.284 m para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (51.7% menos que SEA), hasta 0.087 m para SACH<sub>5</sub>NaR8 (85.2% menos que SEA). Luego, las Excentricidades en el eje Y oscilan entre valores desde 2.486 m para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (1.2% menos que SEA), hasta 2.104 m para SACH<sub>5</sub>NaR8 (16.4% menos que SEA).
- Para las configuraciones -NbR8, las Excentricidades en el eje X oscilan entre valores desde 0.006 m para SAPH<sub>1</sub>NbR8 (99.0% menos que SEA), hasta -0.038 m para SAEH<sub>5</sub>NbR8 (106.5% menos que SEA). Luego, las Excentricidades en el eje Y oscilan entre valores desde 2.497 m para SAEH<sub>1</sub>NbR8 (0.8% menos que SEA), hasta 2.136 m para SACH<sub>5</sub>NbR8 (15.1% menos que SEA).
- Para las configuraciones -NcR8, las Excentricidades en el eje X oscilan entre valores desde 0.011 m para SAPH<sub>1</sub>NcR8 (98.1% menos que SEA), hasta -0.013 m para SAEH<sub>5</sub>NcR8 (102.2% menos que SEA). Luego, las Excentricidades en el eje Y oscilan entre valores desde 2.567 m para SAPH<sub>1</sub>NcR8 (2.0% más que SEA), hasta 2.379 m para SACH<sub>5</sub>NcR8 (5.5% menos que SEA).

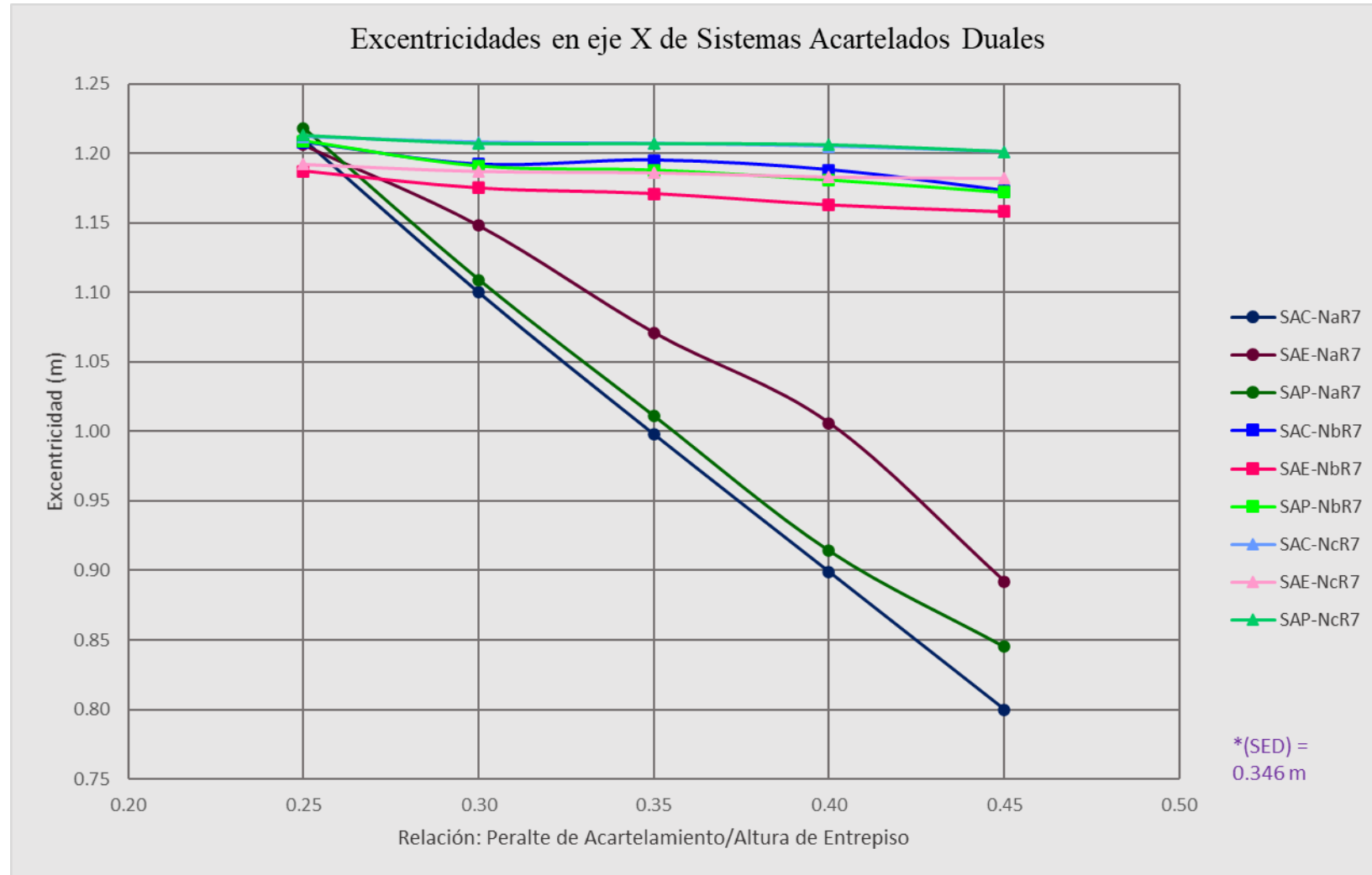
### **5.3. Excentricidades de entrepiso de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica**

- Para las configuraciones -NaR7 (R7 = Duales), las Excentricidades en el eje X oscilan entre valores desde 1.218 m para SAPH<sub>1</sub>NaR7 (252.0% más que SED), hasta 0.800 m para SACH<sub>5</sub>NaR7 (131.2% más que SED). Luego, las Excentricidades en el eje Y oscilan entre valores desde 1.458 m para SAPH<sub>3</sub>NaR7 (15.5% menos que SED), hasta 1.334 m para SACH<sub>5</sub>NaR7 (22.7% menos que SED).
- Para las configuraciones -NbR7, las Excentricidades en el eje X oscilan entre valores desde 1.209 m para SAPH<sub>1</sub>NbR7 (249.4% más que SED), hasta 1.158 m para SAEH<sub>5</sub>NbR7 (234.7% más que SED). Luego, las Excentricidades en el eje Y oscilan entre valores desde 1.483 m para SAPH<sub>3</sub>NbR7 (14.0% menos que SED), hasta 1.362 m para SACH<sub>5</sub>NbR7 (21.0% menos que SED).
- Para las configuraciones -NcR7, las Excentricidades en el eje X oscilan entre valores desde 1.213 m para SAPH<sub>1</sub>NcR7 (250.6% más que SED), hasta 1.182 m para SAEH<sub>5</sub>NcR7 (241.6% más que SED). Luego, las Excentricidades en el eje Y oscilan entre valores desde 1.474 m para SAEH<sub>1</sub>NcR7 (14.6% menos que SED), hasta 1.610 m para SAPH<sub>5</sub>NcR7 (6.7% menos que SED).



**Figura IV- 23**

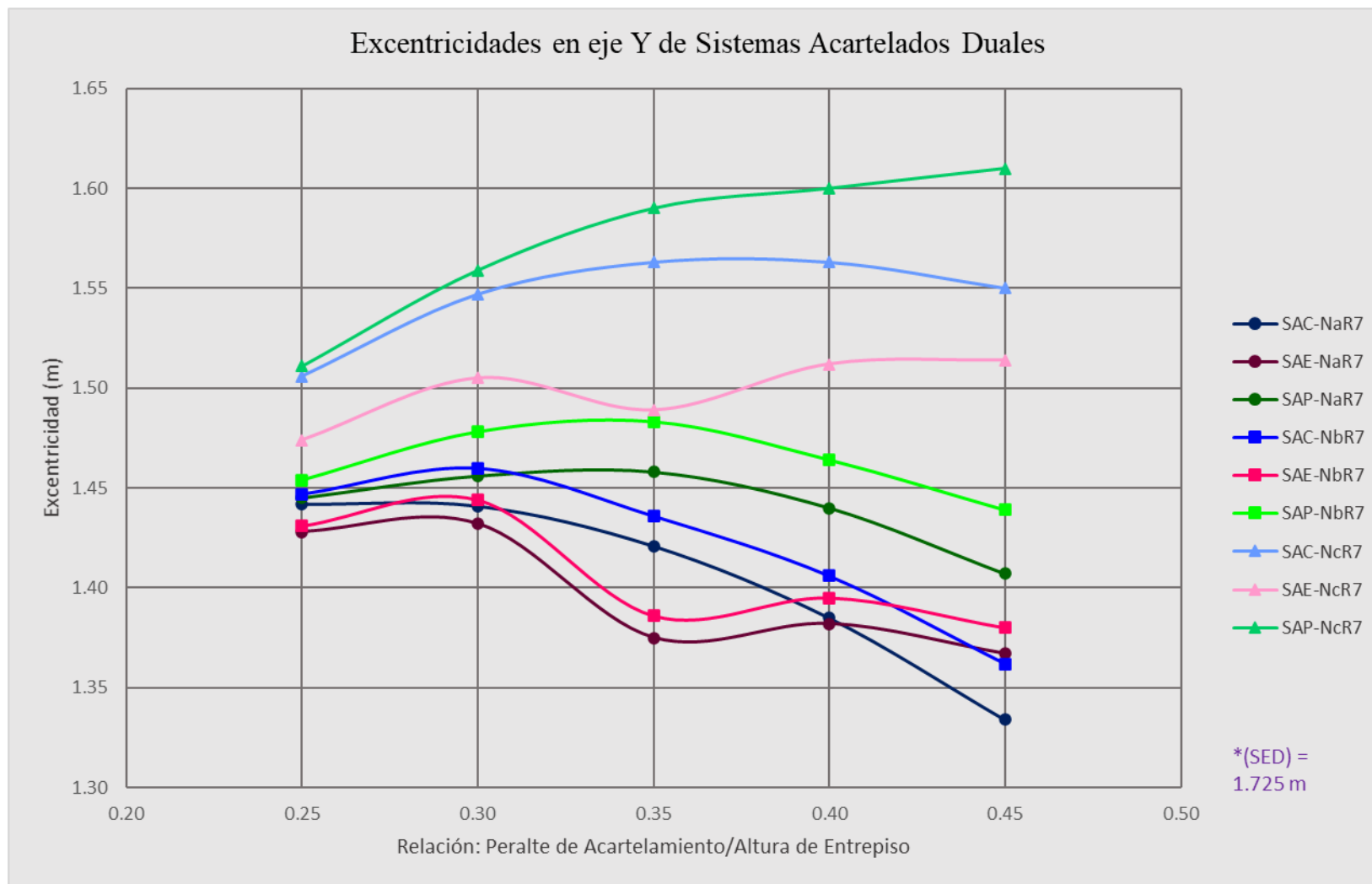
*Excentricidades de entrepiso en eje X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*





**Figura IV- 24**

*Excentricidades de entrepiso en eje Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*

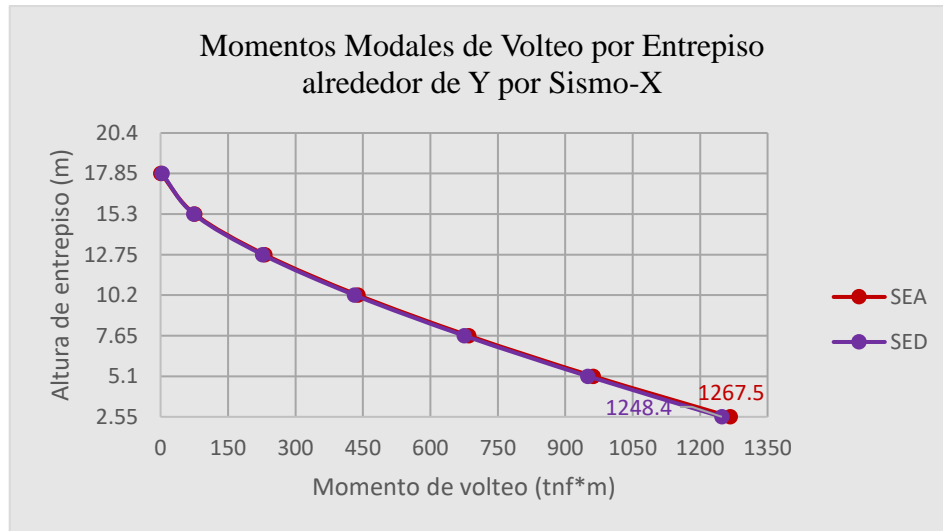


## 6. Momentos modales de volteo basales

### 6.1. Momentos modales de volteo basales de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales

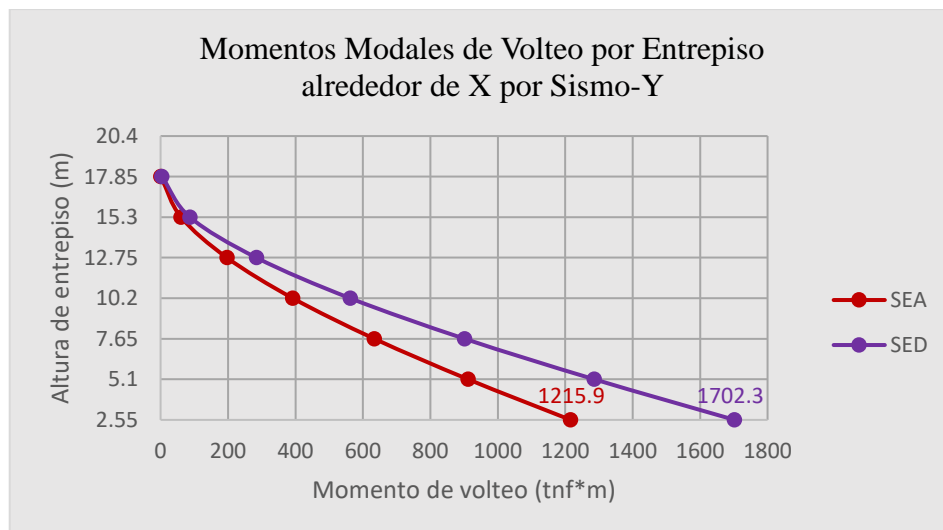
**Figura IV- 25**

Momentos modales de volteo por entrepiso alrededor de Y por Sismo-X de Sistemas Estructurales SEA vs SED



**Figura IV- 26**

Momentos modales de volteo por entrepiso alrededor de X por Sismo-Y de Sistemas Estructurales SEA vs SED



El momento modal de volteo basal alrededor de Y por Sismo-X de SEA se calculó en un valor de 1267.5 tnf\*m, que es un 1.5% mayor que el valor calculado para SED, de 1248.4 tnf\*m. Por otro lado, el momento modal de volteo basal alrededor de X por Sismo-Y de SEA se calculó en un valor de 1215.9 tnf\*m, que es un 28.6% menor que el valor calculado para SED, de 1702.3 tnf\*m.





## 6.2. Momentos modales de volteo basales de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica

Figura IV- 27

Momentos de volteo basales alrededor de Y por Sismo-X de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados

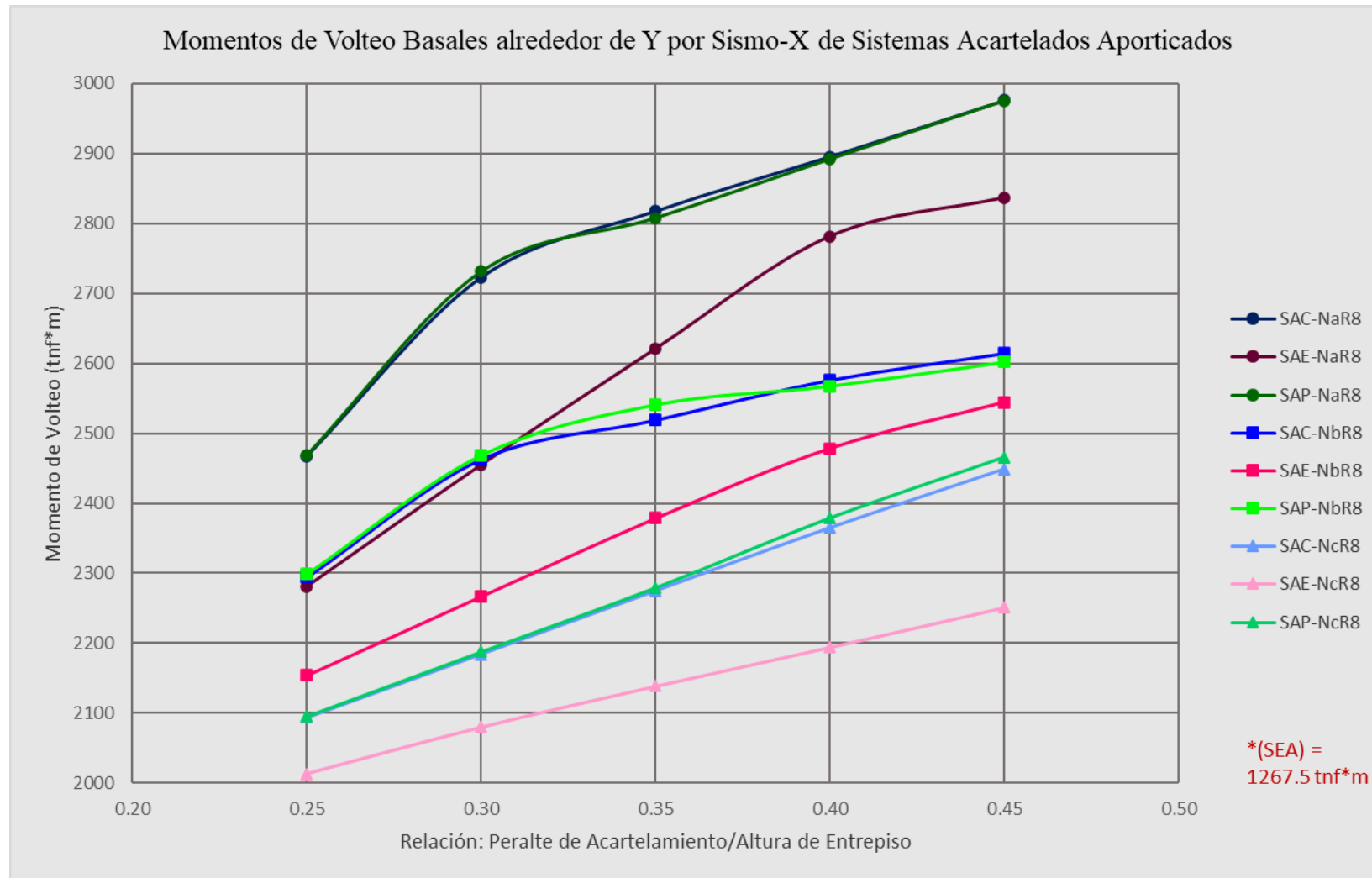
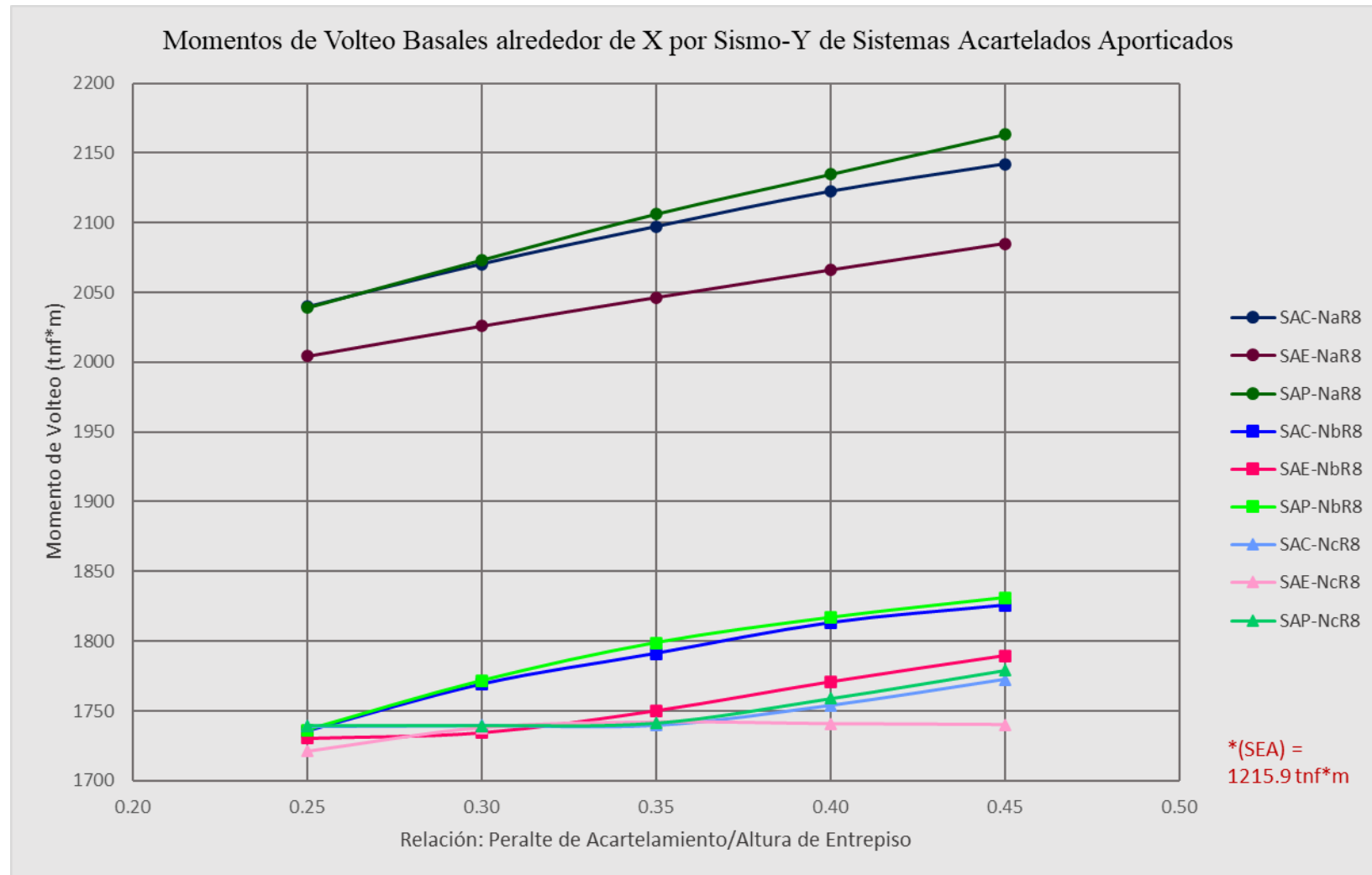




Figura IV- 28

Momentos de volteo basales alrededor de X por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados





- Para las configuraciones -NaR8 (R8 = Aporticadas), los Momentos de Volteo Basales alrededor de Y por Sismo-X oscilan entre valores desde 2280.8 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (79.9% más que SEA), hasta 2976.2 tnf\*m para SACH<sub>5</sub>NaR8 (134.8% más que SEA). Luego, los Momentos de Volteo Basales alrededor de X por Sismo-Y oscilan entre valores desde 2004.2 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (64.8% más que SEA), hasta 2163.0 tnf\*m para SAPH<sub>5</sub>NaR8 (77.9% más que SEA).
- Para las configuraciones -NbR8, los Momentos de Volteo Basales alrededor de Y por Sismo-X oscilan entre valores desde 2154.1 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NbR8 (69.9% más que SEA), hasta 2614.2 tnf\*m para SACH<sub>5</sub>NbR8 (106.2% más que SEA). Luego, los Momentos de Volteo Basales alrededor de X por Sismo-Y oscilan entre valores desde 1730.4 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NbR8 (42.3% más que SEA), hasta 1831.2 tnf\*m para SAPH<sub>5</sub>NbR8 (50.6% más que SEA).
- Para las configuraciones -NcR8, los Momentos de Volteo Basales alrededor de Y por Sismo-X oscilan entre valores desde 2013.4 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NcR8 (58.8% más que SEA), hasta 2466.0 tnf\*m para SAPH<sub>5</sub>NcR8 (94.6% más que SEA). Luego, los Momentos de Volteo Basales alrededor de X por Sismo-Y oscilan entre valores desde 1721.4 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NcR8 (41.6% más que SEA), hasta 1779.3 tnf\*m para SAPH<sub>5</sub>NcR8 (46.3% más que SEA).

### **6.3. *Momentos modales de volteo basales de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica***

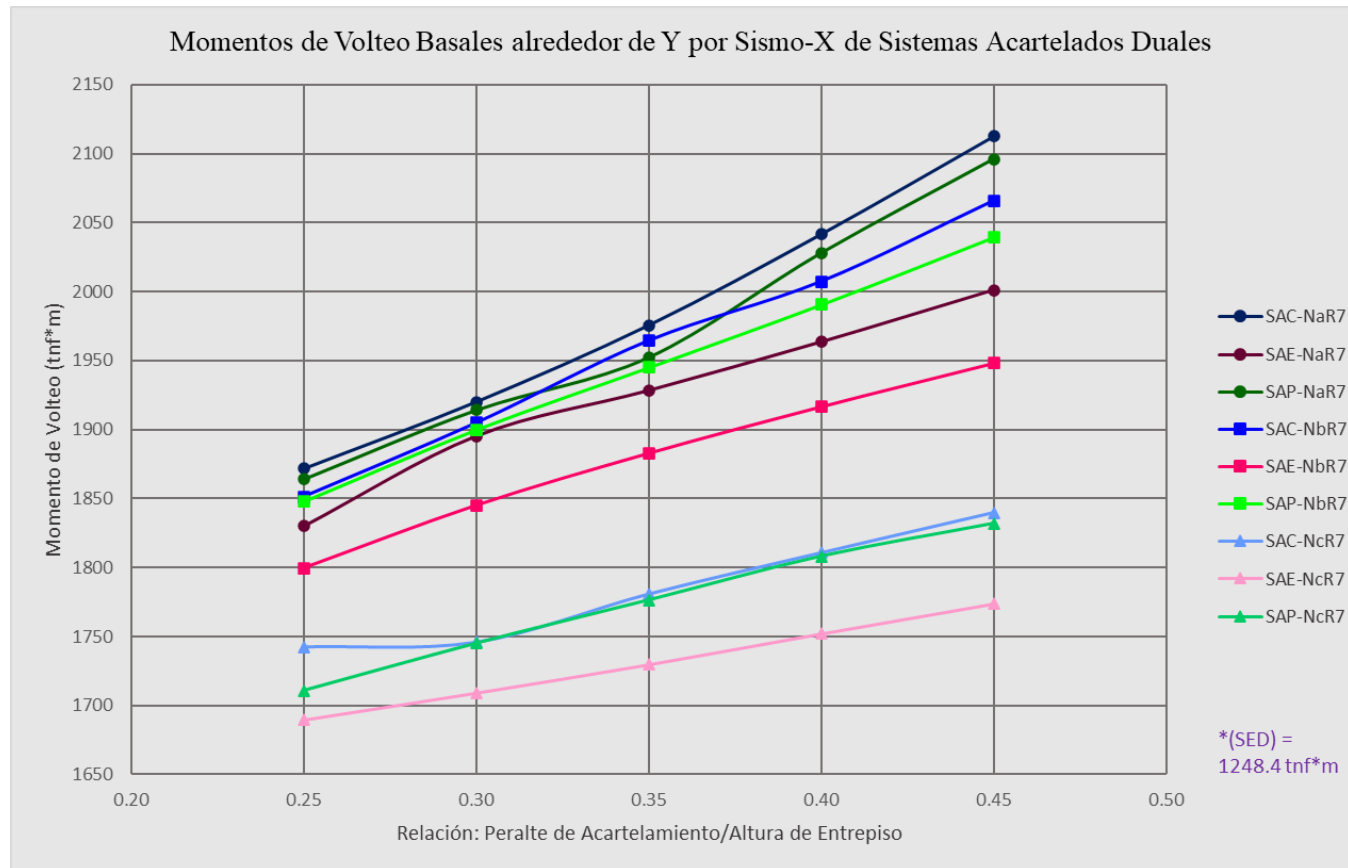
- Para las configuraciones -NaR7 (R7 = Duales), los Momentos de Volteo Basales alrededor de Y por Sismo-X oscilan entre valores desde 1830.3 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NaR7 (46.6% más que SED), hasta 2112.7 tnf\*m para SACH<sub>5</sub>NaR7 (69.2% más que SED). Luego, los Momentos de Volteo Basales alrededor de X por Sismo-Y oscilan entre valores desde 2216.2 tnf\*m para SACH<sub>1</sub>NaR7 (30.2% más que SED), hasta 2477.1 tnf\*m para SACH<sub>5</sub>NaR7 (45.5% más que SED).
- Para las configuraciones -NbR7, los Momentos de Volteo Basales alrededor de Y por Sismo-X oscilan entre valores desde 1799.7 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NbR7 (44.2% más que SED), hasta 2065.9 tnf\*m para SACH<sub>5</sub>NbR7 (65.5% más que SED). Luego, los Momentos de Volteo Basales alrededor de X por Sismo-Y oscilan entre valores desde 2136.0 tnf\*m para SAEH<sub>2</sub>NbR7 (25.5% más que SED), hasta 2372.6 tnf\*m para SAPH<sub>5</sub>NbR7 (39.4% más que SED).



- Para las configuraciones -NcR7, los Momentos de Volteo Basales alrededor de Y por Sismo-X oscilan entre valores desde 1689.6 tnf\*m para SAEH<sub>1</sub>NcR7 (35.3% más que SED), hasta 1839.7 tnf\*m para SACH<sub>5</sub>NcR7 (47.4% más que SED). Luego, los Momentos de Volteo Basales alrededor de X por Sismo-Y oscilan entre valores desde 2159.3 tnf\*m para SACH<sub>3</sub>NcR7 (26.8% más que SED), hasta 2249.1 tnf\*m para SAPH<sub>5</sub>NcR7 (32.1% más que SED).

**Figura IV- 29**

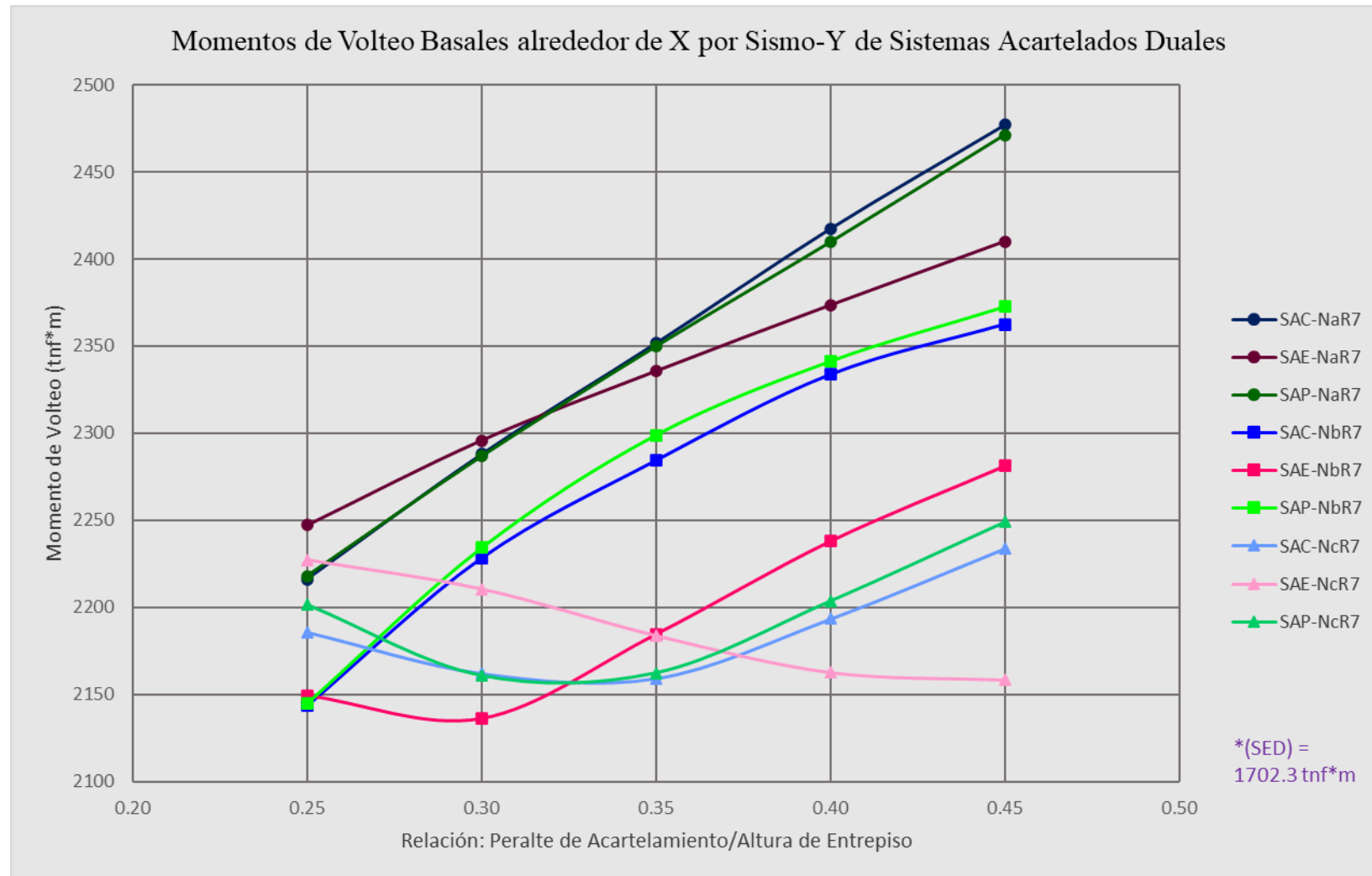
*Momentos de volteo basales alrededor de Y por Sismo-X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*





**Figura IV- 30**

*Momentos de volteo basales alrededor de X por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*



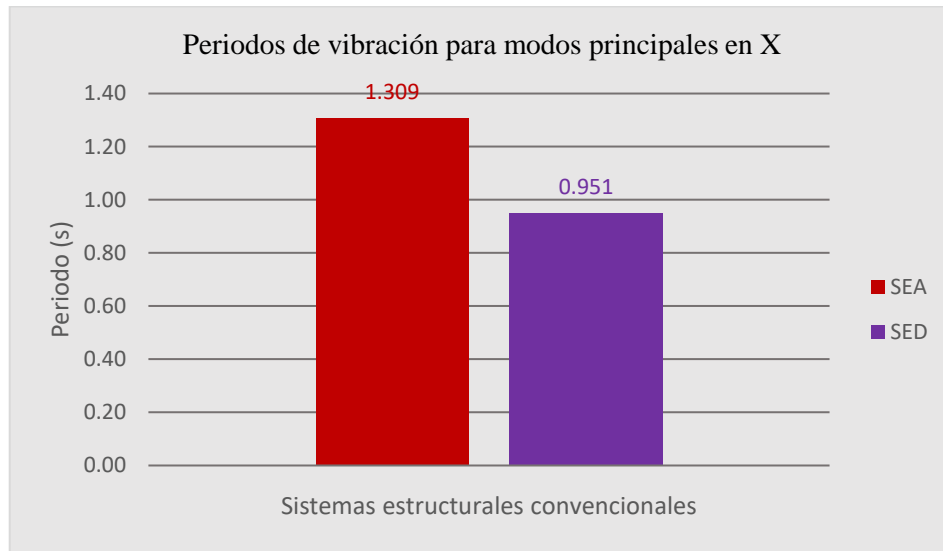


## 7. Periodos de vibración

### 7.1. *Periodos de vibración de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales*

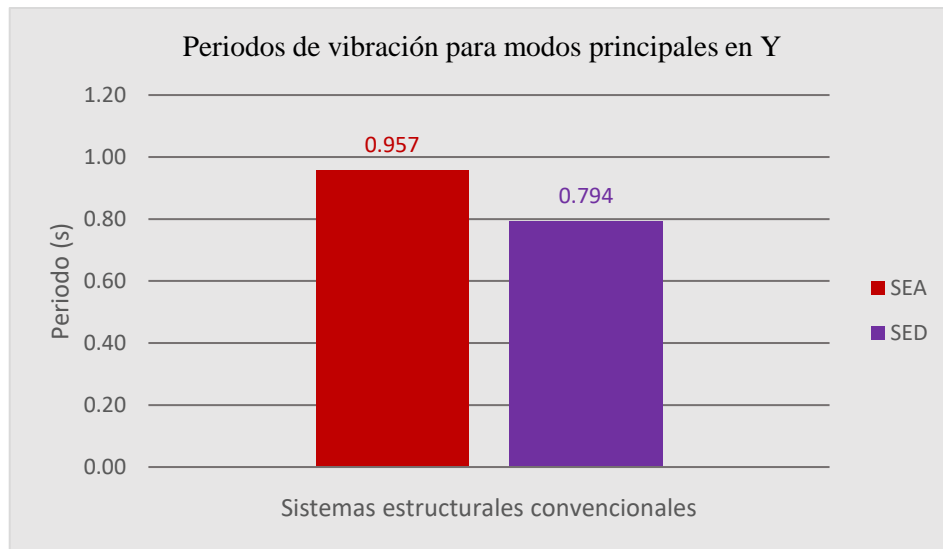
**Figura IV- 31**

*Periodos de vibración para modos principales en X de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



**Figura IV- 32**

*Periodos de vibración para modos principales en Y de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



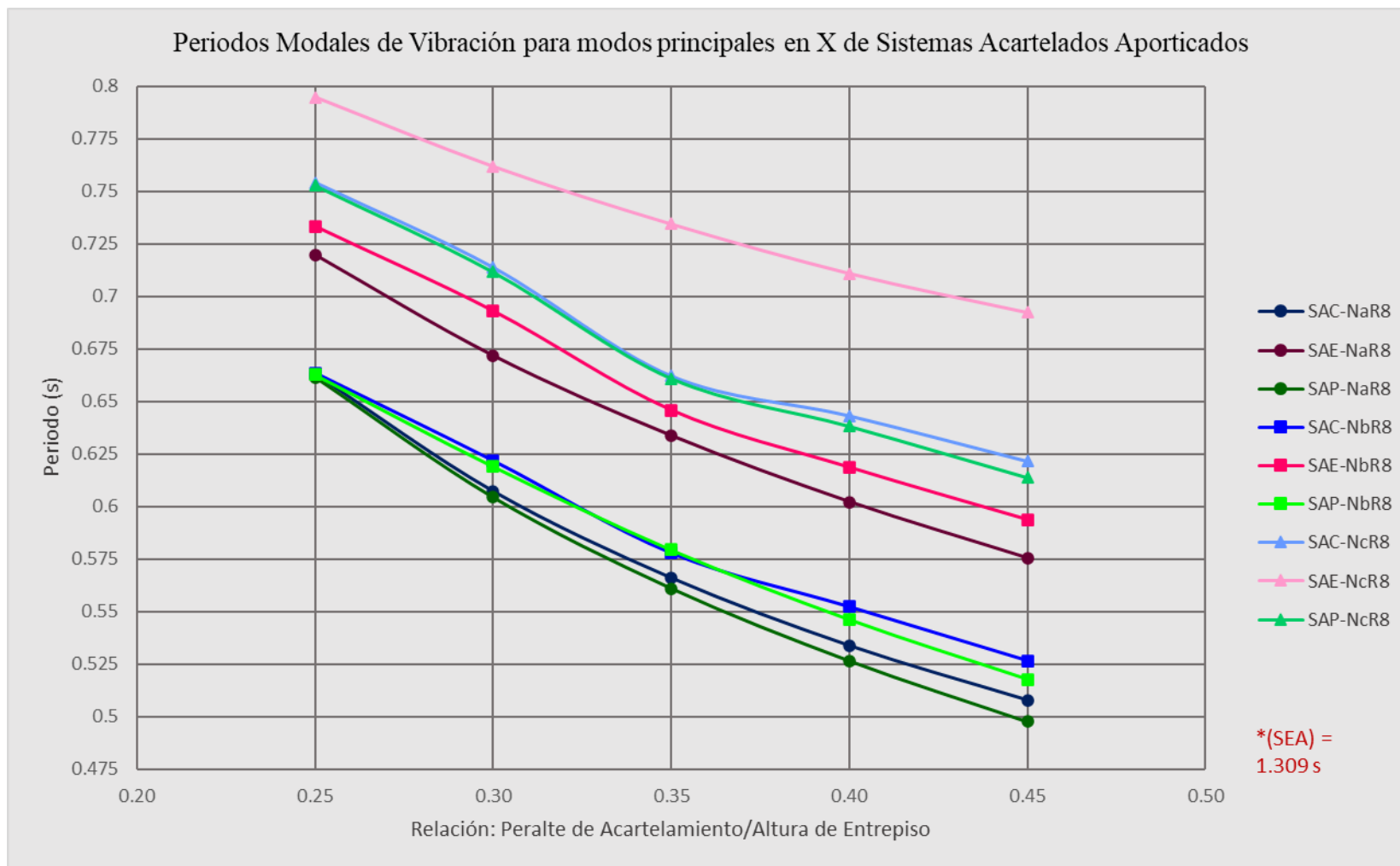
El periodo de vibración con modo principal en X de SEA se calculó en un valor de 1.309 s, que es un 37.6% mayor que el valor calculado para SED, de 0.951 s. Por otro lado, el periodo de vibración con modo principal en Y de SEA se calculó en un valor de 0.957 s, que es un 20.5% mayor que el valor calculado para SED, de 0.794 s.



## 7.2. Periodos de vibración de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica

Figura IV- 33

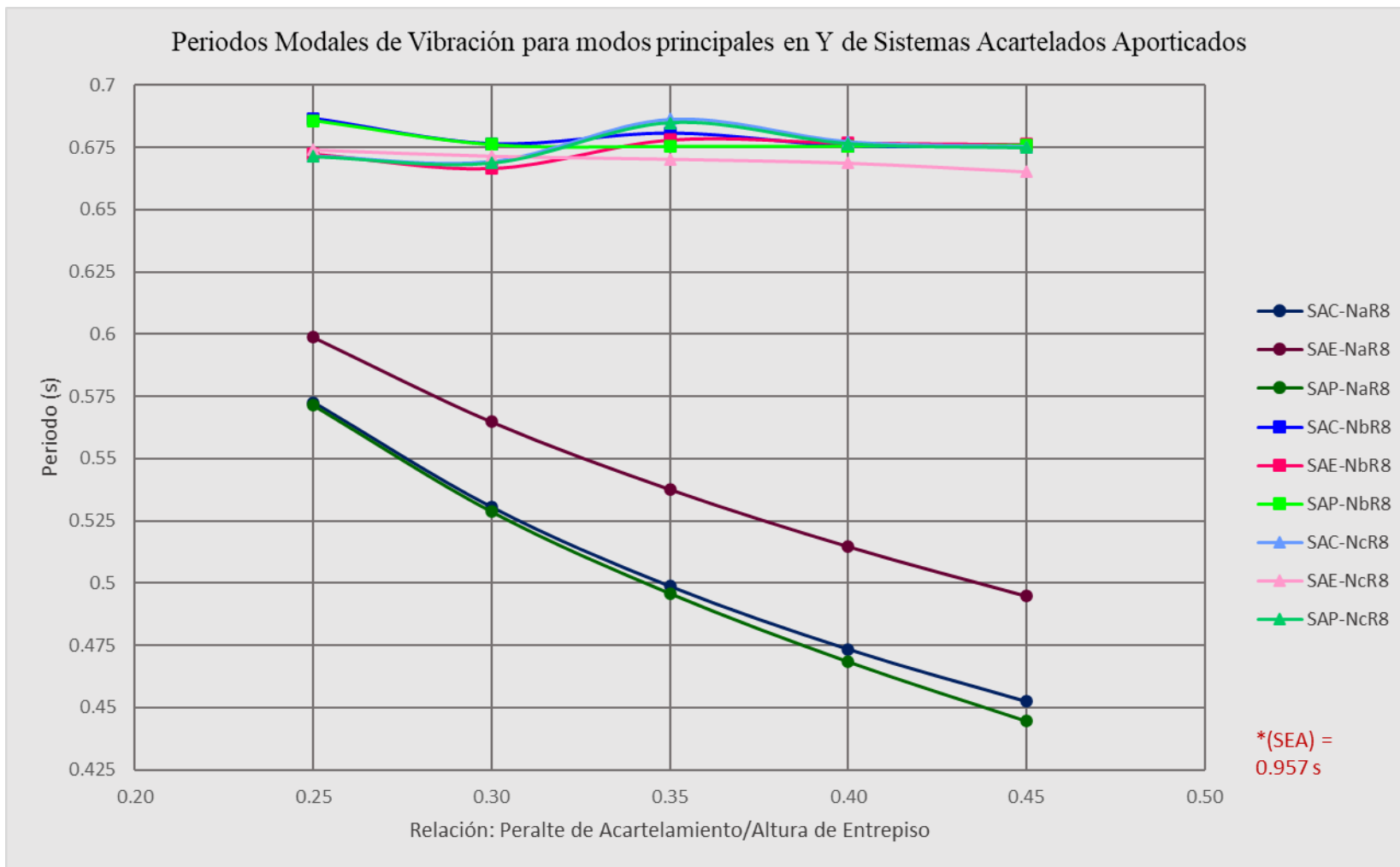
Periodos de vibración para modos principales en X de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados





**Figura IV- 34**

*Periodos de vibración para modos principales en Y de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados*







- Para las configuraciones -NaR8 (R8 = Aporticadas), los Periodos de Vibración para modos principales en X oscilan entre valores desde 0.720 s para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (45.0% menos que SEA), hasta 0.498 s para SAPH<sub>5</sub>NaR8 (62.0% menos que SEA). Luego, los Periodos de Vibración para modos principales en Y oscilan entre valores desde 0.599 s para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (37.4% menos que SEA), hasta 0.445 s para SAPH<sub>5</sub>NaR8 (53.5% menos que SEA).
- Para las configuraciones -NbR8, los Periodos de Vibración para modos principales en X oscilan entre valores desde 0.733 s para SAEH<sub>1</sub>NbR8 (44.0% menos que SEA), hasta 0.518 s para SAPH<sub>5</sub>NbR8 (60.4% menos que SEA). Luego, los Periodos de Vibración para modos principales en Y oscilan entre valores desde 0.687 s para SACH<sub>1</sub>NbR8 (28.2% menos que SEA), hasta 0.667 s para SAEH<sub>2</sub>NbR8 (30.3% menos que SEA).
- Para las configuraciones -NcR8, los Periodos de Vibración para modos principales en X oscilan entre valores desde 0.795 s para SAEH<sub>1</sub>NcR8 (39.3% menos que SEA), hasta 0.614 s para SAPH<sub>5</sub>NcR8 (53.1% menos que SEA). Luego, los Periodos de Vibración para modos principales en Y oscilan entre valores desde 0.685 s para SAPH<sub>3</sub>NcR8 (28.4% menos que SEA), hasta 0.665 s para SAEH<sub>5</sub>NcR8 (30.5% menos que SEA).

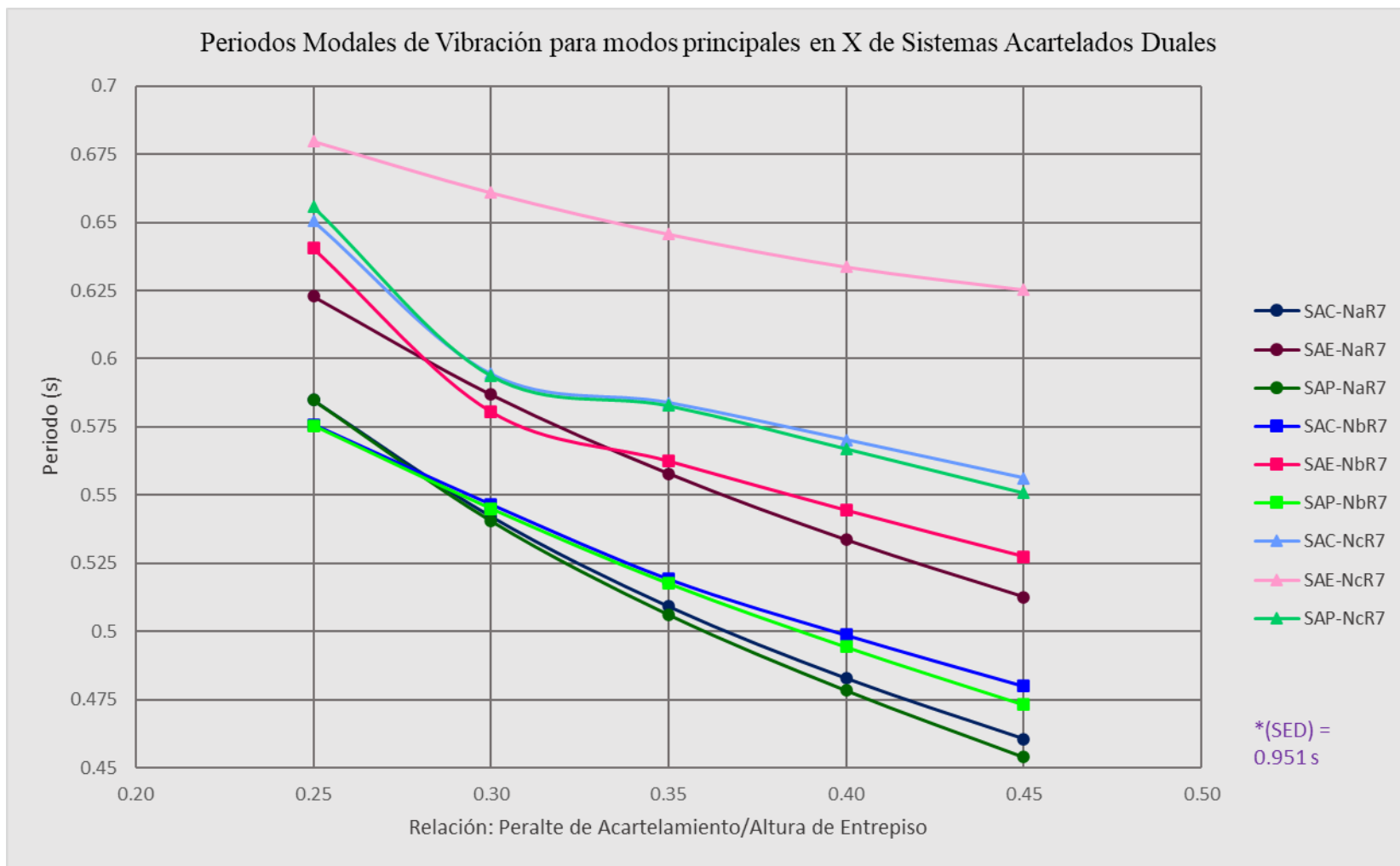
### ***7.3. Periodos de vibración de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica***

- Para las configuraciones -NaR7 (R7 =Duales), los Periodos de Vibración para modos principales en X oscilan entre valores desde 0.623 s para SAEH<sub>1</sub>NaR7 (34.5% menos que SED), hasta 0.454 s para SAPH<sub>5</sub>NaR7 (52.3% menos que SED). Luego, los Periodos de Vibración para modos principales en Y oscilan entre valores desde 0.546 s para SAEH<sub>1</sub>NaR7 (31.2% menos que SED), hasta 0.420 s para SAPH<sub>5</sub>NaR7 (47.1% menos que SED).
- Para las configuraciones -NbR7, los Periodos de Vibración para modos principales en X oscilan entre valores desde 0.641 s para SAEH<sub>1</sub>NbR7 (32.6% menos que SED), hasta 0.473 s para SAPH<sub>5</sub>NbR7 (50.3% menos que SED). Luego, los Periodos de Vibración para modos principales en Y oscilan entre valores desde 0.595 s para SAEH<sub>1</sub>NbR7 (25.1% menos que SED), hasta 0.621 s para SACH<sub>1</sub>NbR7 (21.8% menos que SED).
- Para las configuraciones -NcR7, los Periodos de Vibración para modos principales en X oscilan entre valores desde 0.680 s para SAEH<sub>1</sub>NcR7 (28.5% menos que SED), hasta 0.551 s para SAPH<sub>5</sub>NcR7 (42.1% menos que SED). Luego, los Periodos de Vibración para modos principales en Y oscilan entre valores desde 0.588 s para SAEH<sub>5</sub>NcR7 (25.9% menos que SED), hasta 0.635 s para SACH<sub>2</sub>NcR7 (20.0% menos que SED).



**Figura IV- 35**

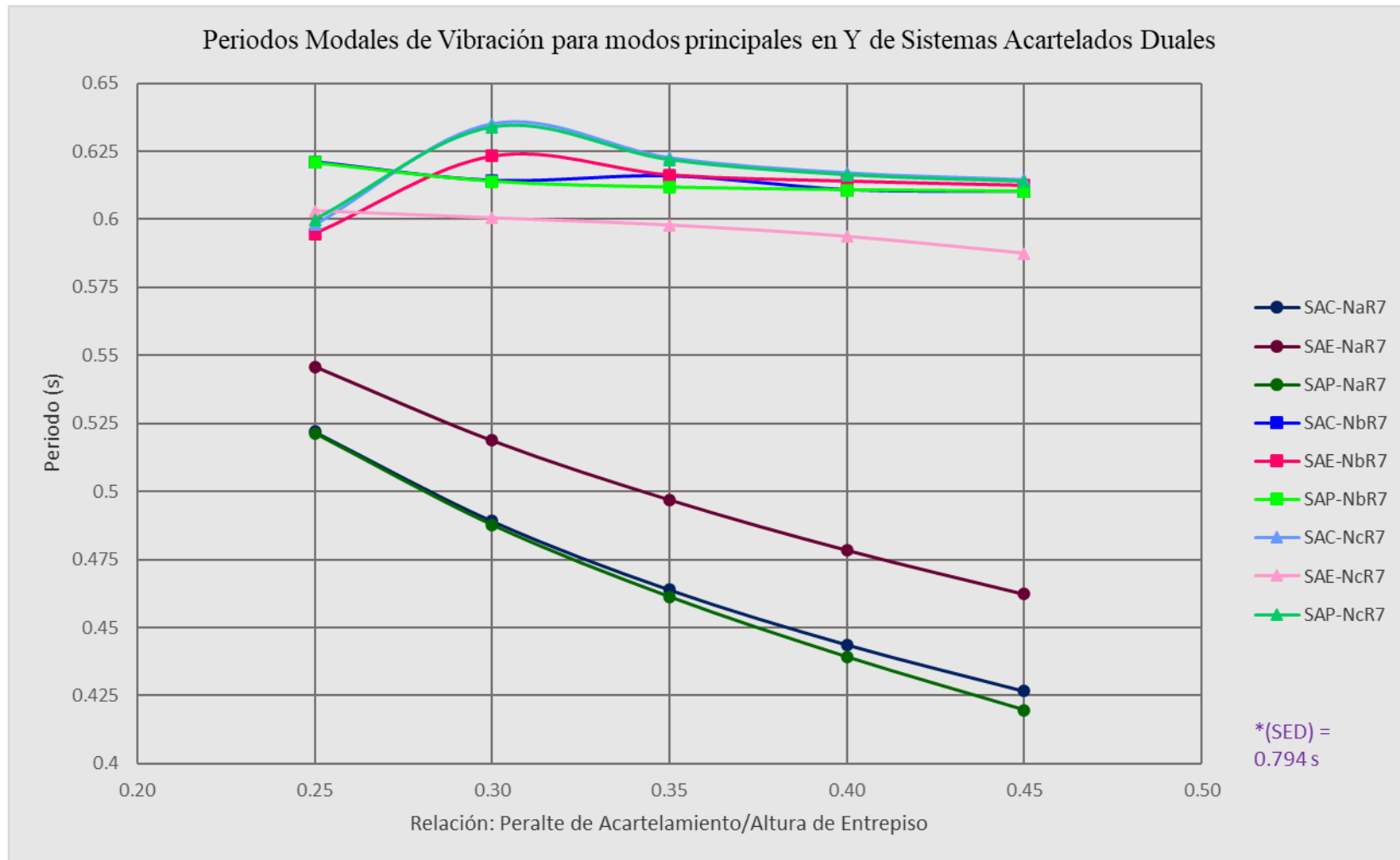
*Periodos de vibración para modos principales en X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*





**Figura IV- 36**

*Periodos de vibración para modos principales en Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*



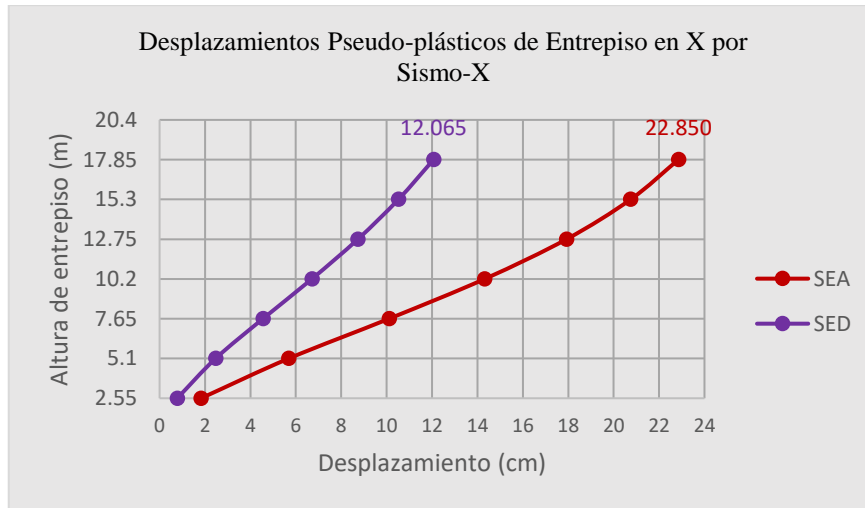


## 8. Máximos desplazamientos pseudo-plásticos

### 8.1. Máximos desplazamientos pseudo-plásticos de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales

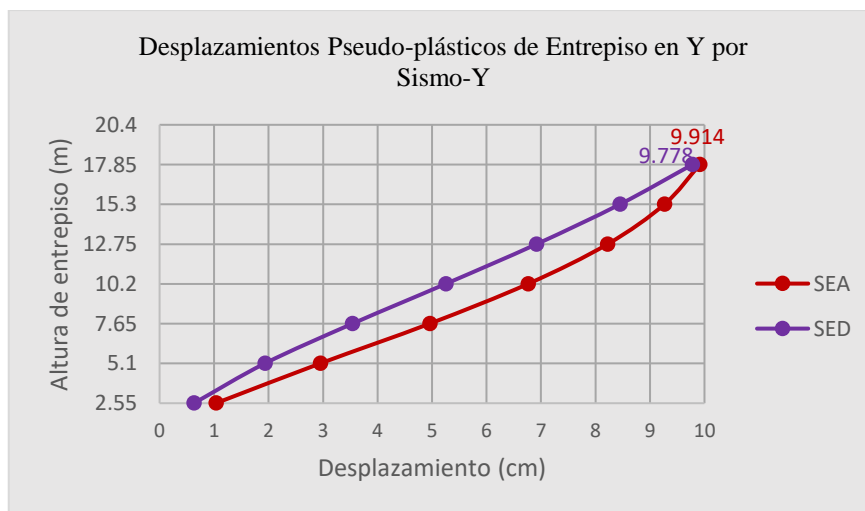
**Figura IV- 37**

*Desplazamientos pseudo-plásticos de entrepiso en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



**Figura IV- 38**

*Desplazamientos pseudo-plásticos de entrepiso en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



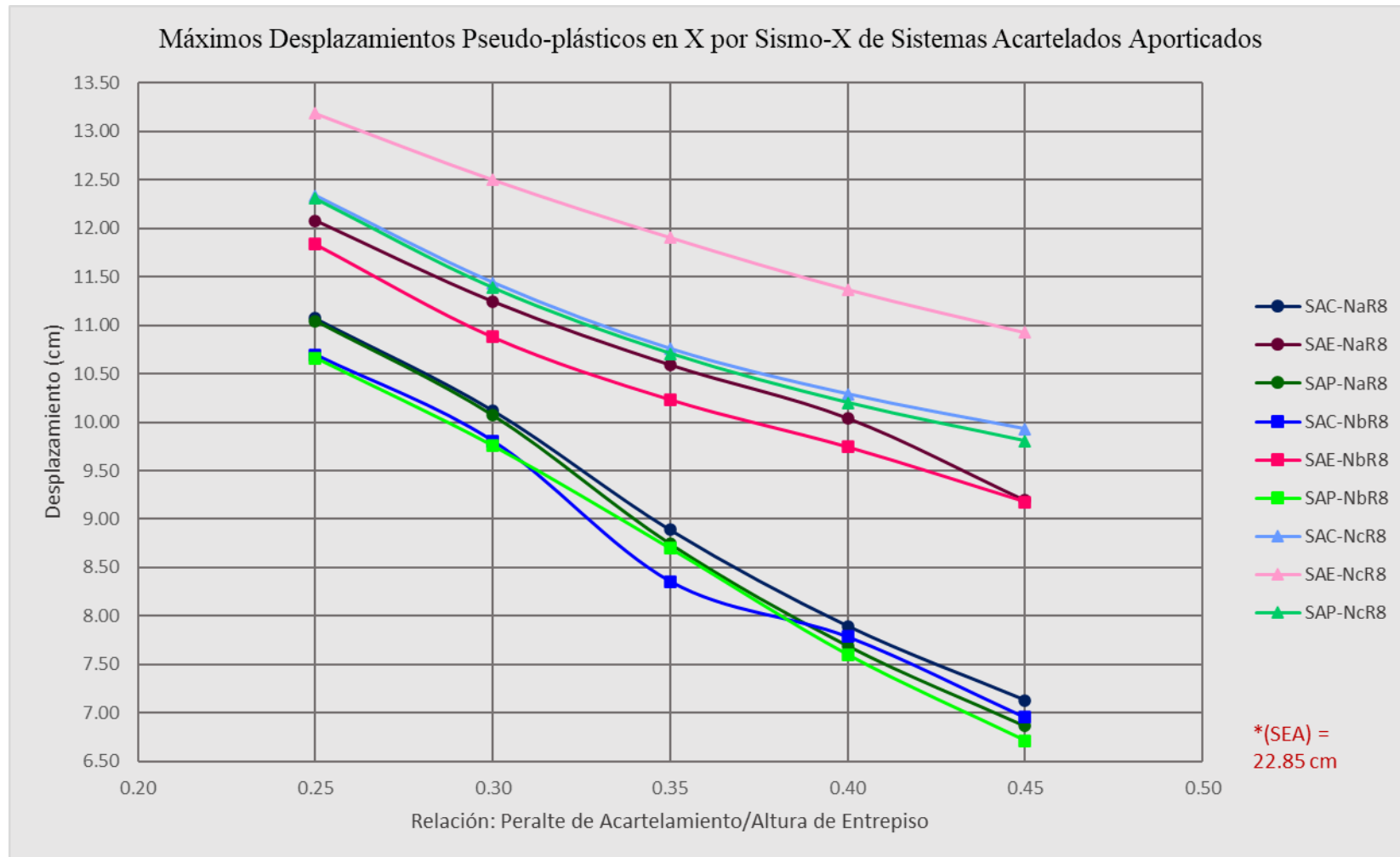
El máximo desplazamiento pseudo-plástico en dirección X por Sismo-X de SEA se calculó en un valor de 22.85 cm, que es un 89.3% mayor que el valor calculado para SED, de 12.07 cm. Por otro lado, el máximo desplazamiento pseudo-plástico en dirección Y por Sismo-Y de SEA se calculó en un valor de 9.91 cm, que es un 1.3% mayor que el valor calculado para SED, de 9.78 cm.



## 8.2. Máximos desplazamientos pseudo-plásticos de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica

Figura IV- 39

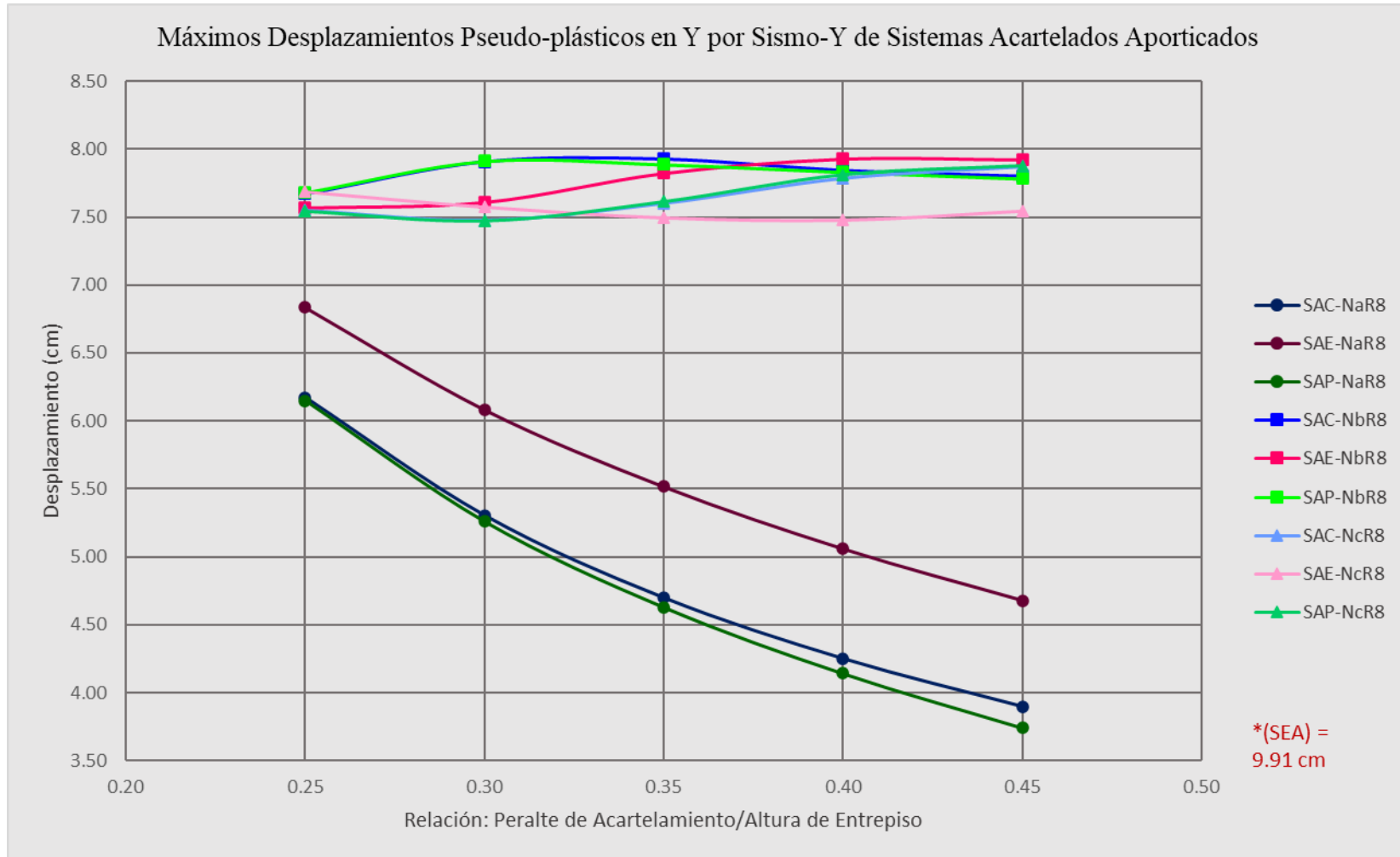
Máximos desplazamientos pseudo-plásticos en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados





**Figura IV- 40**

*Máximos desplazamientos pseudo-plásticos en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados*





- Para las configuraciones -NaR8 (R8 = Aporticadas), los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 12.08 cm para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (47.1% menos que SEA), hasta 6.87 cm para SAPH<sub>5</sub>NaR8 (69.9% menos que SEA). Luego, los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 6.84 cm para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (31.0% menos que SEA), hasta 3.74 cm para SAPH<sub>5</sub>NaR8 (62.3% menos que SEA).
- Para las configuraciones -NbR8, los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 11.84 cm para SAEH<sub>1</sub>NbR8 (48.2% menos que SEA), hasta 6.72 cm para SAPH<sub>5</sub>NbR8 (70.6% menos que SEA). Luego, los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 7.57 cm para SAEH<sub>1</sub>NbR8 (23.6% menos que SEA), hasta 7.93 cm para SACH<sub>3</sub>NbR8 (20.0% menos que SEA).
- Para las configuraciones -NcR8, los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 13.19 cm para SAEH<sub>1</sub>NcR8 (42.3% menos que SEA), hasta 9.80 cm para SAPH<sub>5</sub>NcR8 (57.1% menos que SEA). Luego, los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 7.47 cm para SAPH<sub>2</sub>NcR8 (24.6% menos que SEA), hasta 7.88 cm para SAPH<sub>5</sub>NcR8 (20.5% menos que SEA).

### **8.3. Máximos desplazamientos pseudo-plásticos de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica**

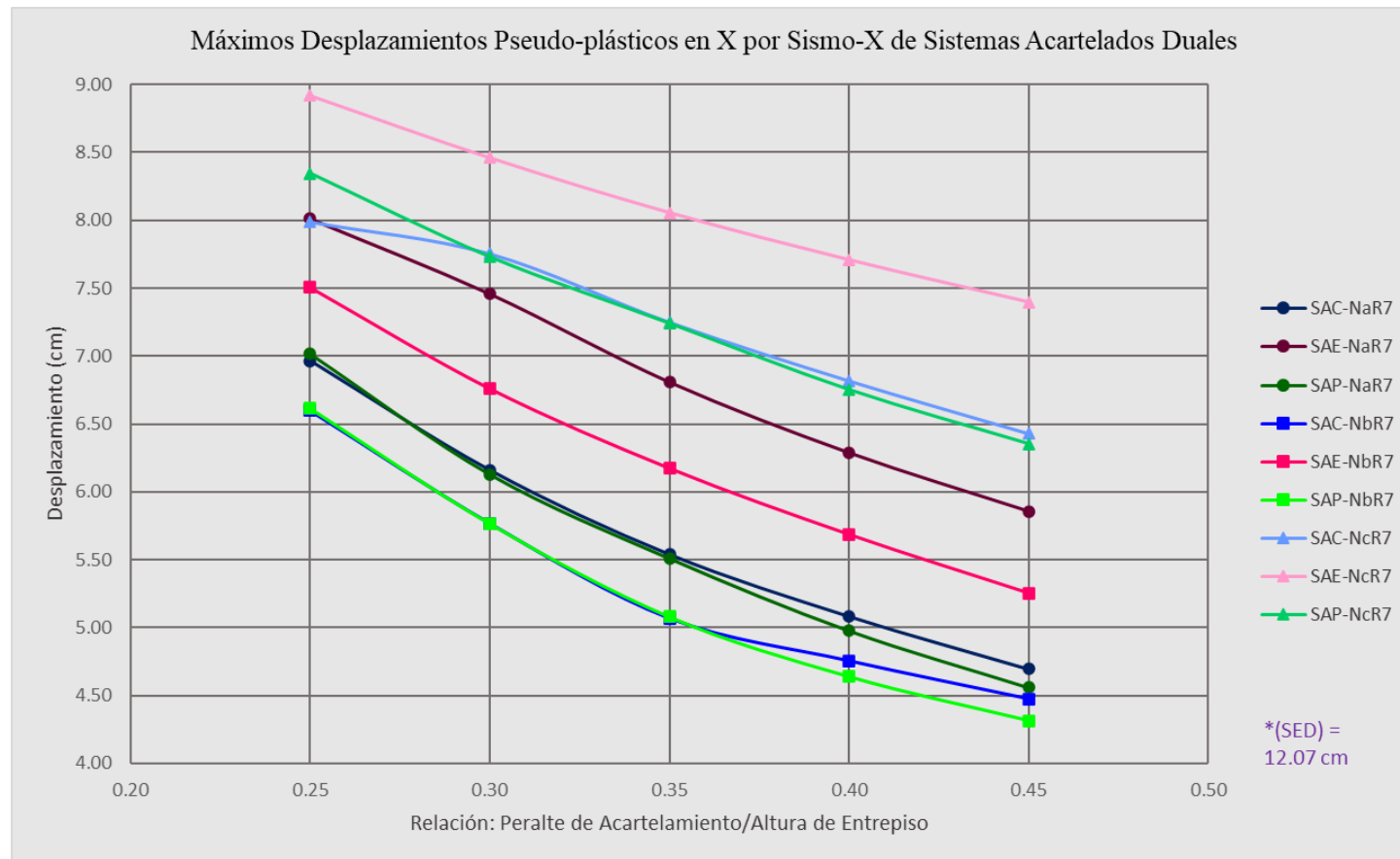
- Para las configuraciones -NaR7 (R7 = Duales), los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 8.01 cm para SAEH<sub>1</sub>NaR7 (33.6% menos que SED), hasta 4.56 cm para SAPH<sub>5</sub>NaR7 (62.2% menos que SED). Luego, los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 5.62 cm para SAEH<sub>1</sub>NaR7 (42.5% menos que SED), hasta 3.27 cm para SAPH<sub>5</sub>NaR7 (66.6% menos que SED).
- Para las configuraciones -NbR7, los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 7.50 cm para SAEH<sub>1</sub>NbR7 (37.9% menos que SED), hasta 4.31 cm para SAPH<sub>5</sub>NbR7 (64.3% menos que SED). Luego, los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 6.71 cm para SAEH<sub>1</sub>NbR7 (31.4% menos que SED), hasta 7.40 cm para SACH<sub>3</sub>NbR7 (24.3% menos que SED).



- Para las configuraciones -NcR7, los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos en X por Sismo-X oscilan entre valores desde 8.92 cm para SAEH<sub>1</sub>N<sub>c</sub>R7 (26.1% menos que SED), hasta 6.35 cm para SAPH<sub>5</sub>N<sub>c</sub>R7 (47.4% menos que SED). Luego, los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos en Y por Sismo-Y oscilan entre valores desde 6.59 cm para SAEH<sub>4</sub>N<sub>c</sub>R7 (32.6% menos que SED), hasta 7.26 cm para SAPH<sub>5</sub>N<sub>c</sub>R7 (25.8% menos que SED).

**Figura IV- 41**

*Máximos desplazamientos pseudo-plásticos en dirección X por Sismo-X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*

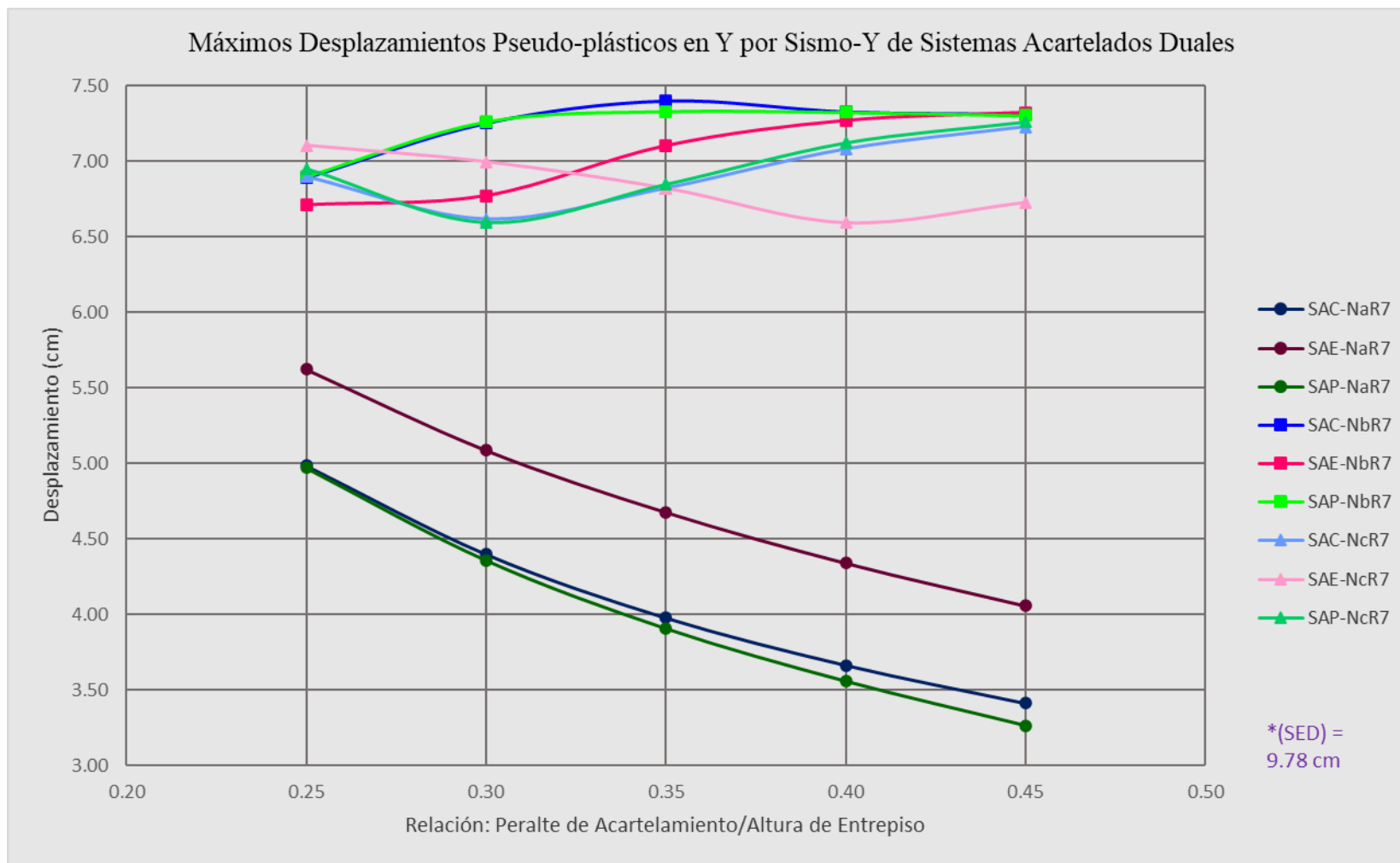






**Figura IV- 42**

*Máximos desplazamientos pseudo-plásticos en dirección Y por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*



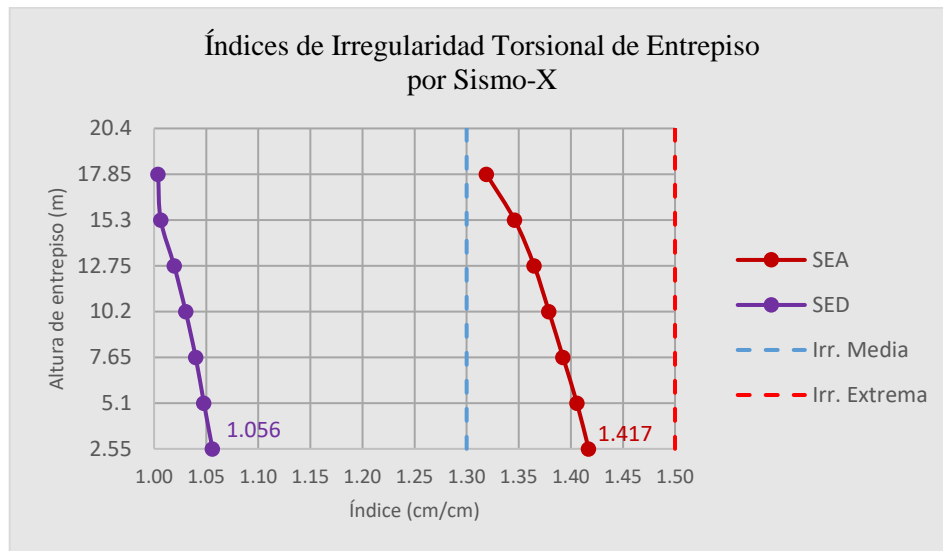


## 9. Índices de irregularidad torsional

### 9.1. Índices de irregularidad torsional de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales

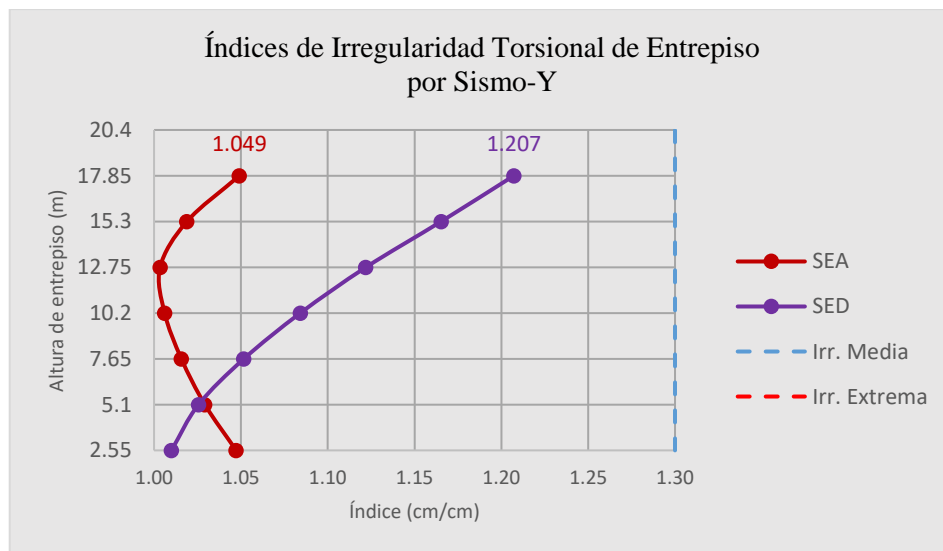
**Figura IV- 43**

Índices de irregularidad torsional de entrepiso por Sismo-X de Sistemas Estructurales SEA vs SED



**Figura IV- 44**

Índices de irregularidad torsional de entrepiso por Sismo-Y de Sistemas Estructurales SEA vs SED



El índice de irregularidad torsional en dirección X por Sismo-X de SEA se calculó en un valor de 1.417, que es un 34.2% mayor que el valor calculado para SED, de 1.056. Por otro lado, el índice de irregularidad torsional en dirección Y por Sismo-Y de SEA se calculó en un valor de 1.049, que es un 13.1% menor que el valor calculado para SED, de 1.207.



## 9.2. Índices de irregularidad torsional de Sistemas Estructurales Aportados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica

Figura IV- 45

Índices de irregularidad torsional por Sismo-X de Sistemas Estructurales Aportados Acartelados

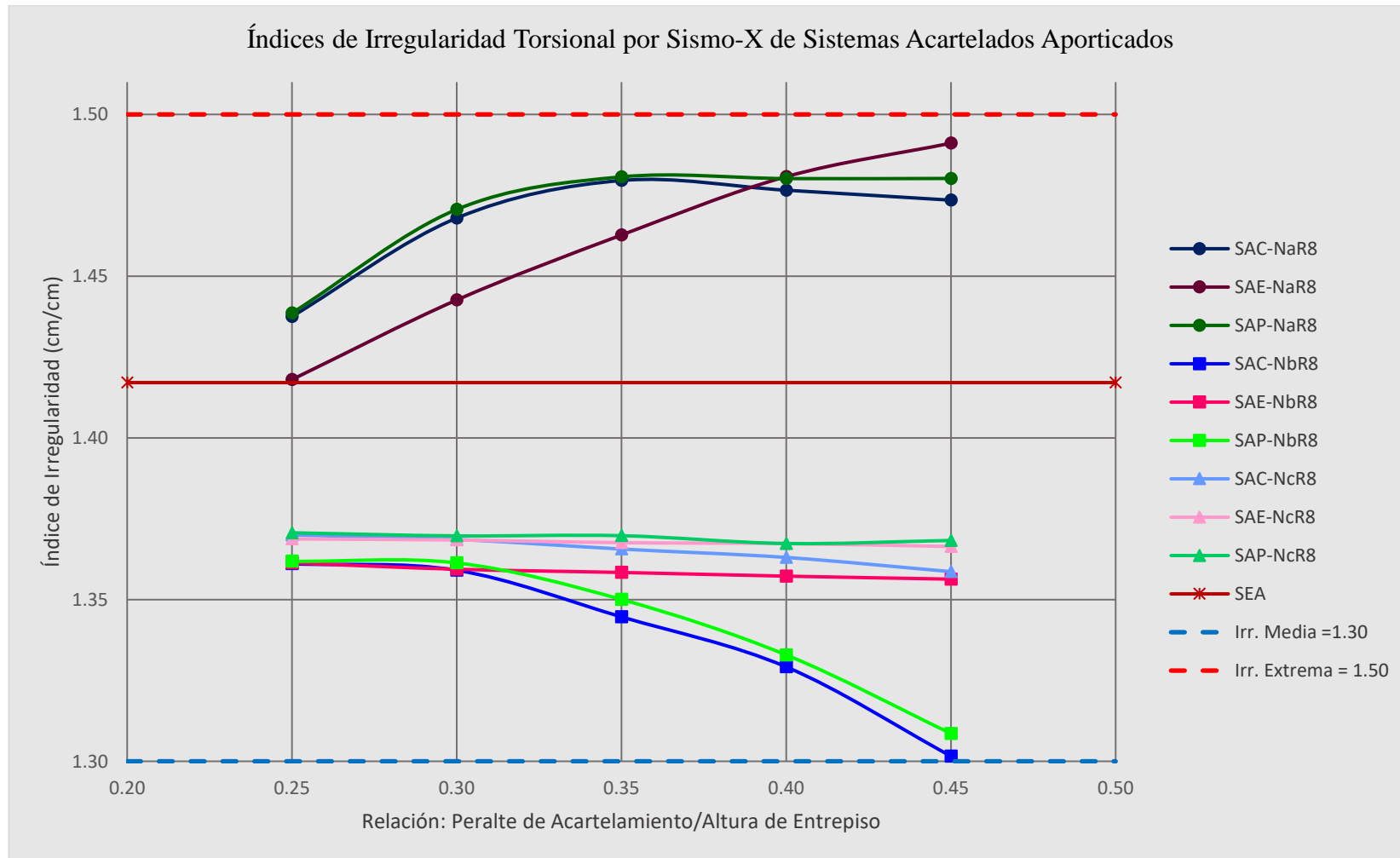
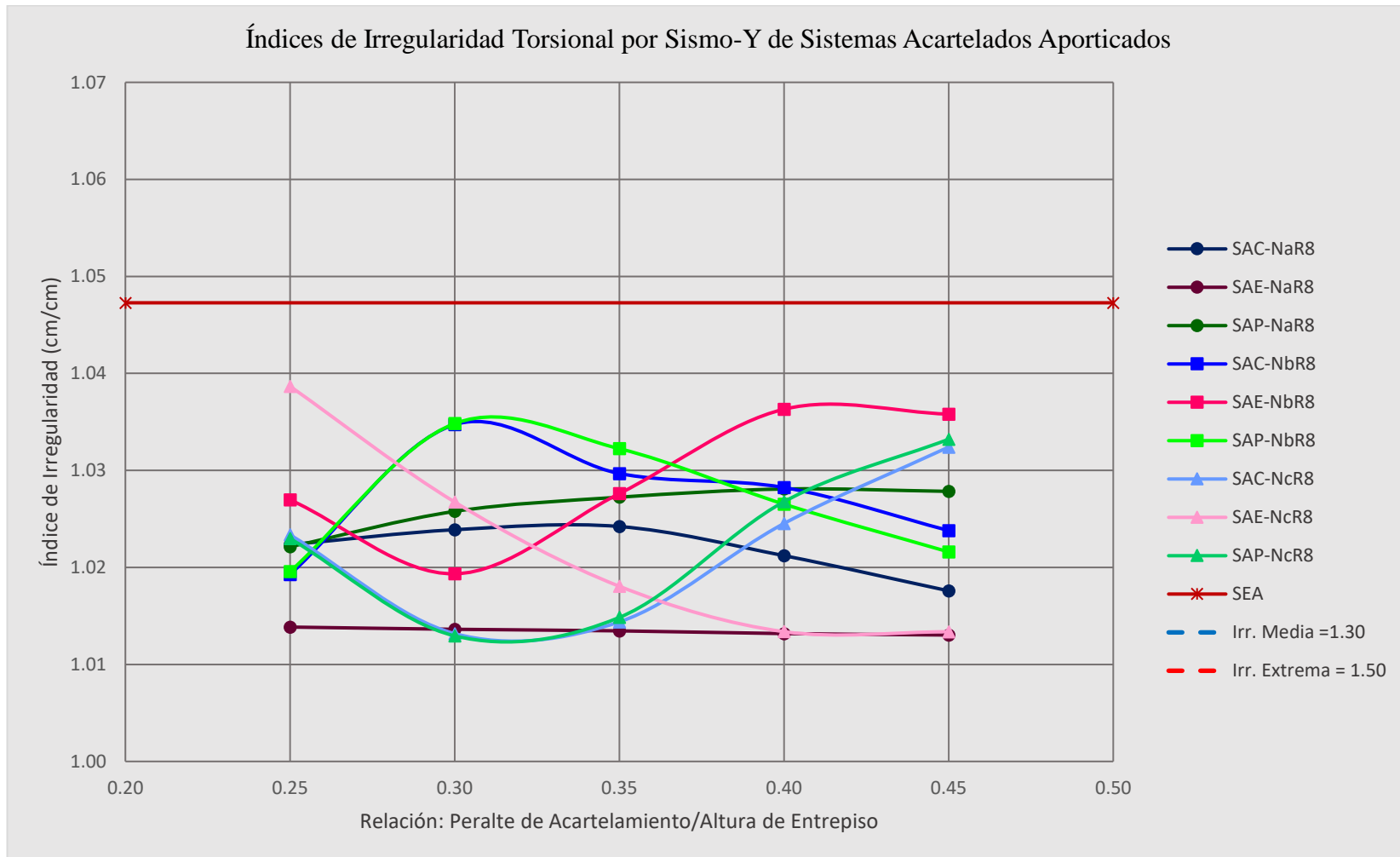




Figura IV- 46

Índices de irregularidad torsional por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados





- Para las configuraciones -NaR8 (R8 = Aporticadas), los Índices de Irregularidad Torsional por Sismo-X oscilan entre valores desde 1.418 para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (0.1% más que SEA), hasta 1.491 para SAEH<sub>5</sub>NaR8 (5.2% más que SEA). Luego, los Índices de Irregularidad Torsional por Sismo-Y oscilan entre valores desde 1.013 para SAEH<sub>3</sub>NaR8 (3.4% menos que SEA), hasta 1.028 para SAPH<sub>5</sub>NaR8 (2.0% menos que SEA).
- Para las configuraciones -NbR8, los Índices de Irregularidad Torsional por Sismo-X oscilan entre valores desde 1.362 para SAPH<sub>1</sub>NbR8 (3.9% menos que SEA), hasta 1.302 para SACH<sub>5</sub>NbR8 (8.1% menos que SEA). Luego, los Índices de Irregularidad Torsional por Sismo-Y oscilan entre valores desde 1.019 para SACH<sub>1</sub>NbR8 (2.9% menos que SEA), hasta 1.036 para SAEH<sub>4</sub>NbR8 (1.2% menos que SEA).
- Para las configuraciones -NcR8, los Índices de Irregularidad Torsional por Sismo-X oscilan entre valores desde 1.371 para SAPH<sub>1</sub>NcR8 (3.2% menos que SEA), hasta 1.359 para SACH<sub>5</sub>NcR8 (4.1% menos que SEA). Luego, los Índices de Irregularidad Torsional por Sismo-Y oscilan entre valores desde 1.039 para SAEH<sub>1</sub>NcR8 (1.0% menos que SEA), hasta 1.013 para SAEH<sub>5</sub>NcR8 (3.4% menos que SEA).

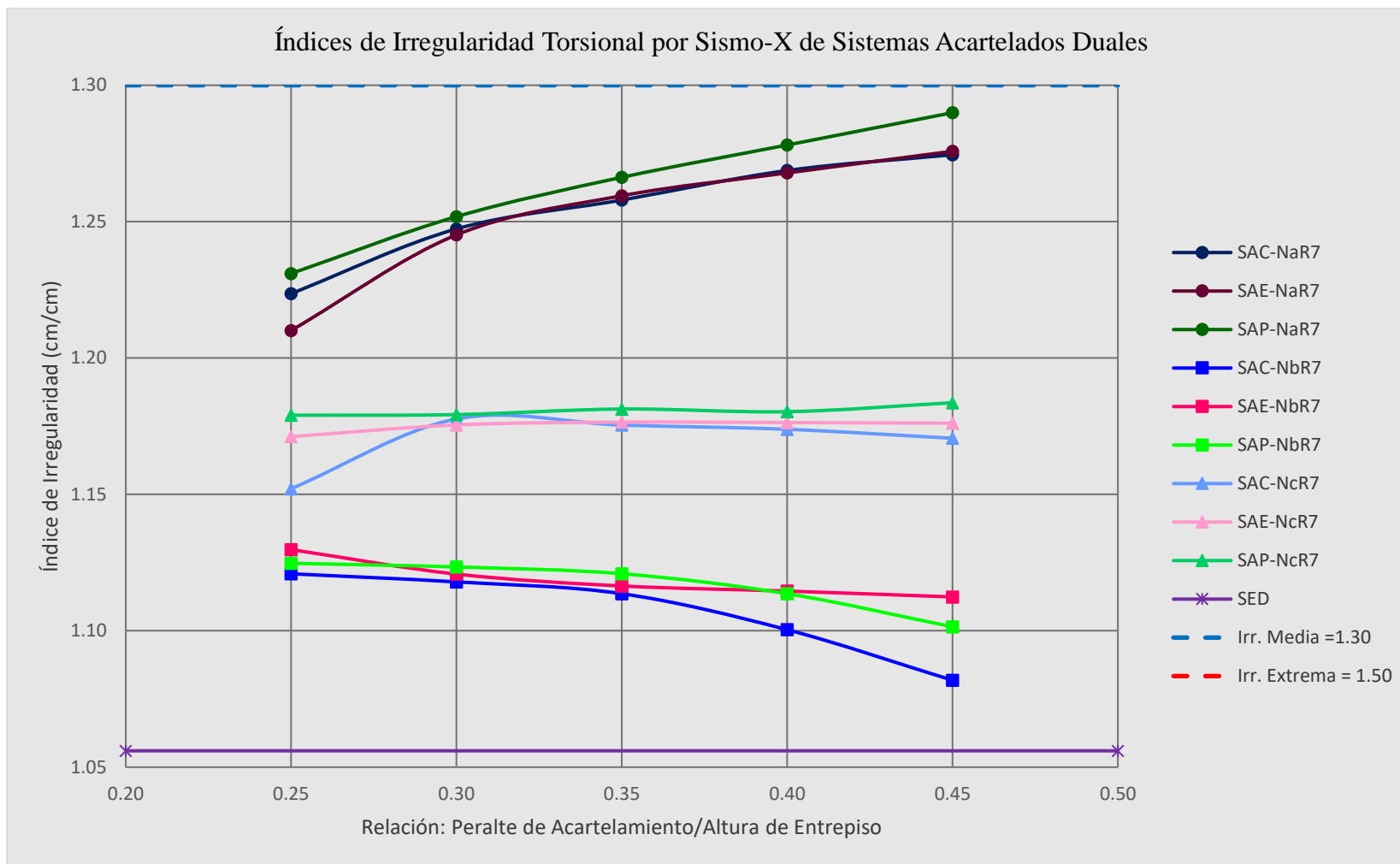
### ***9.3. Índices de irregularidad torsional de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica***

- Para las configuraciones -NaR7 (R7 = Duales), los Índices de Irregularidad Torsional por Sismo-X oscilan entre valores desde 1.210 para SAEH<sub>1</sub>NaR7 (14.6% más que SED), hasta 1.290 para SAPH<sub>5</sub>NaR7 (22.2% más que SED). Luego, los Índices de Irregularidad Torsional por Sismo-Y oscilan entre valores desde 1.113 para SAEH<sub>1</sub>NaR7 (7.8% menos que SED), hasta 1.041 para SAPH<sub>5</sub>NaR7 (13.8% menos que SED).
- Para las configuraciones -NbR7, los Índices de Irregularidad Torsional por Sismo-X oscilan entre valores desde 1.130 para SAEH<sub>1</sub>NbR7 (7.0% más que SED), hasta 1.082 para SACH<sub>5</sub>NbR7 (2.5% más que SED). Luego, los Índices de Irregularidad Torsional por Sismo-Y oscilan entre valores desde 1.110 para SACH<sub>1</sub>NbR7 (8.0% menos que SED), hasta 1.188 para SAEH<sub>5</sub>NbR7 (1.6% menos que SED).
- Para las configuraciones -NcR7, los Índices de Irregularidad Torsional por Sismo-X oscilan entre valores desde 1.152 para SACH<sub>1</sub>NcR7 (9.1% más que SED), hasta 1.184 para SAPH<sub>5</sub>NcR7 (12.1% más que SED). Luego, los Índices de Irregularidad Torsional por Sismo-Y oscilan entre valores desde 1.086 para SACH<sub>3</sub>NcR7 (10.0% menos que SED), hasta 1.168 para SAPH<sub>5</sub>NcR7 (3.2% menos que SED).



Figura IV- 47

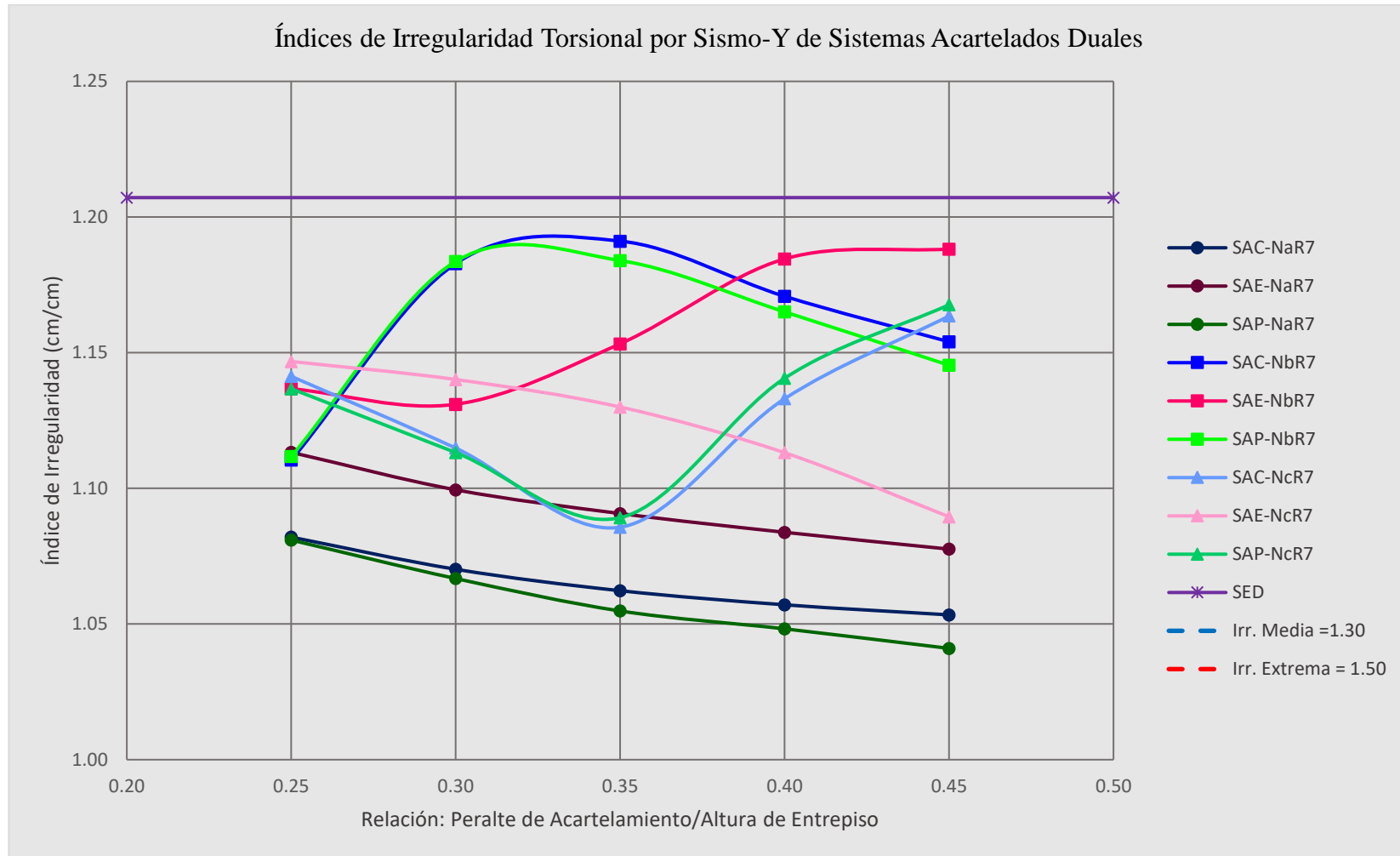
Índices de irregularidad torsional por Sismo-X de Sistemas Estructurales Duales Acartelados





**Figura IV- 48**

*Índices de irregularidad torsional por Sismo-Y de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*





## 10. Pesos estructurales

### 10.1. Pesos estructurales de Sistemas Estructurales Aporticado y Dual convencionales

**Figura IV- 49**

*Pesos estructurales de Sistemas Estructurales SEA vs SED*



El peso estructural del caso SEA se calculó en un valor de 713.75 tnf, que es un 10.1% menor que el peso estructural calculado para el caso SED, con un valor de 793.82 tnf.

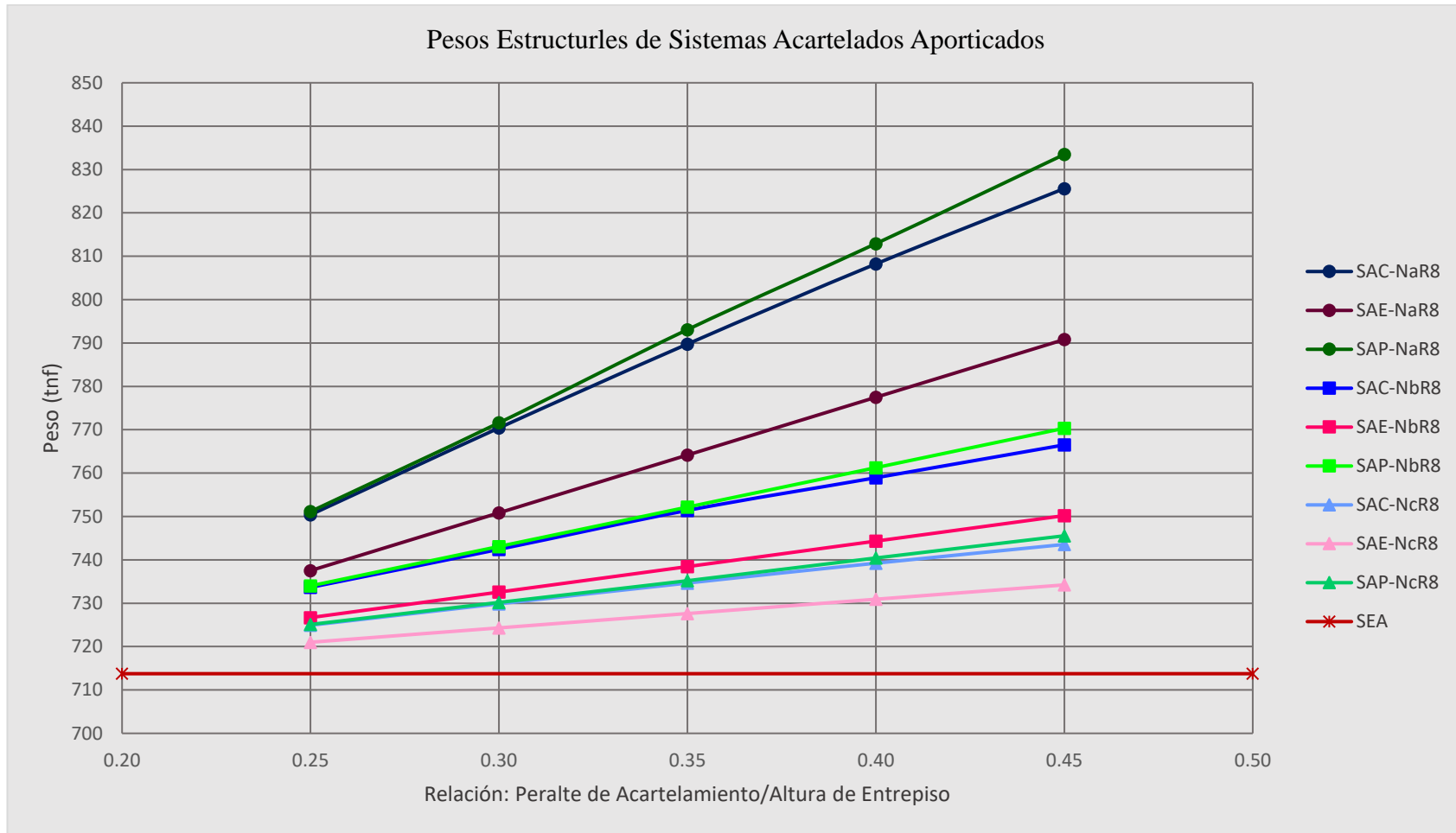




## 10.2. Pesos estructurales de Sistemas Estructurales Aporticados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica

Figura IV- 50

Pesos estructurales de Sistemas Estructurales Aporticados Acartelados





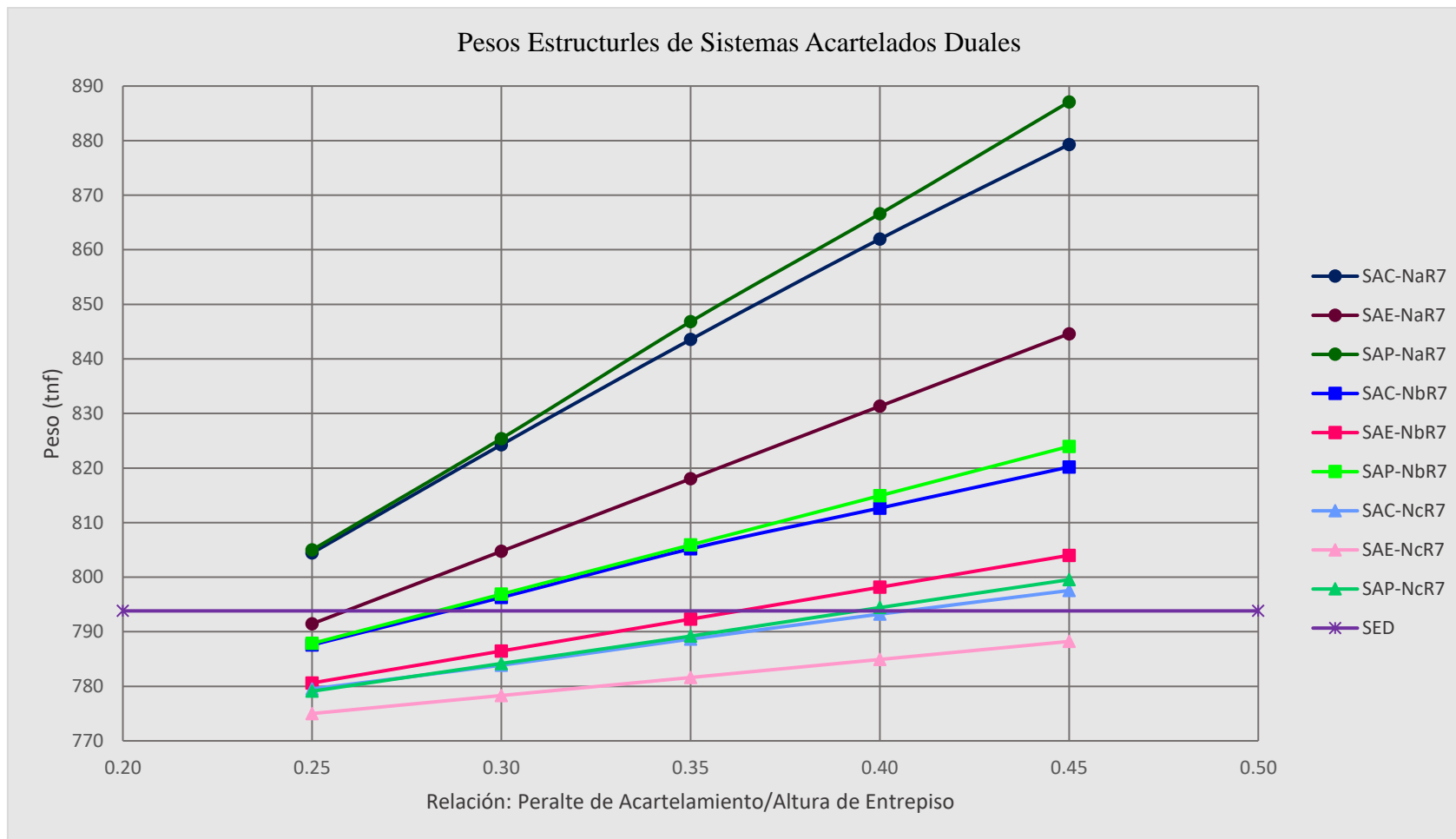
- Para las configuraciones -NaR8 (R8 = Aporticadas), los Pesos Estructurales oscilan entre valores desde 737.5 tnf para SAEH<sub>1</sub>NaR8 (3.3% más que SEA), hasta 833.5 tnf para SAPH<sub>5</sub>NaR8 (16.8% más que SEA).
- Para las configuraciones -NbR8, los Pesos Estructurales oscilan entre valores desde 726.7 tnf para SAEH<sub>1</sub>NbR8 (1.8% más que SEA), hasta 770.3 tnf para SAPH<sub>5</sub>NbR8 (7.9% más que SEA).
- Para las configuraciones -NcR8, los Pesos Estructurales oscilan entre valores desde 721.0 tnf para SAEH<sub>1</sub>NcR8 (1.0% más que SEA), hasta 745.5 tnf para SAPH<sub>5</sub>NcR8 (4.4% más que SEA).

### ***10.3. Pesos estructurales de Sistemas Estructurales Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica***

- Para las configuraciones -NaR7 (R7 = Duales), los Pesos Estructurales oscilan entre valores desde 791.5 tnf para SAEH<sub>1</sub>NaR7 (0.3% menos que SED), hasta 887.1 tnf para SAPH<sub>5</sub>NaR7 (11.8% más que SED).
- Para las configuraciones -NbR7, los Pesos Estructurales oscilan entre valores desde 780.6 tnf para SAEH<sub>1</sub>NbR7 (1.7% menos que SED), hasta 824.0 tnf para SAPH<sub>5</sub>NbR7 (3.8% más que SED).
- Para las configuraciones -NcR7, los Pesos Estructurales oscilan entre valores desde 775.0 tnf para SAEH<sub>1</sub>NcR7 (2.4% menos que SED), hasta 799.5 tnf para SAPH<sub>5</sub>NcR7 (0.7% más que SED).



**Figura IV- 51**  
*Pesos estructurales de Sistemas Estructurales Duales Acartelados*





## **Capítulo V: Discusión de resultados**



## 1. Discusiones

### 1.1. *Incremento de Cortantes Modales Basales*

Acerca sobre los resultados de Cortantes Modales Basales por la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica a los Sistemas Aporticados y Duales, es notable apreciar el incremento sustancial de esta fuerza que ocurre en todos los casos analizados y en ambas direcciones sísmicas. Este hecho también fue reportado por Priyanka, entre otros (2017), con variaciones de hasta +25.13% para Acartelamientos Ahusados. Este efecto de comportamiento sísmico ocurre y se ve amplificado como en esta tesis, cuando el acartelamiento es “positivo” (por así considerarlo) no restando sección longitudinal a la viga y está presente en toda la longitud de luz de viga, por lo tanto, proporcional al peso. Casos diferentes como los modelos de Herrera Sanabria (2017) y Jolly y Vijayan (2016) cuando los Acartelamientos Ahusados modelados son de perfil “negativo” para los cuales se lograron variaciones de Cortante Basal de hasta +1.99% y -14.50%, respectivamente.

### 1.2. *Reducción de Máximas Derivas y Desplazamientos Pseudo-plásticos*

Declarando sobre los resultados de Máximas Derivas y Desplazamientos Pseudo-plásticos por la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica a los Sistemas Aporticados y Duales, se puede reconocer que se lograron remarcables reducciones para ambas variables al añadir este tipo de elementos. Tales ventajas permitieron corregir las deficiencias de rigidez en cuanto a derivas en sentido del eje X del sistema estructural Aporticado (según la norma peruana E.030, art. 32), a partir de peraltes de acartelamiento mayores o iguales a 0.30 veces la altura de entrepiso (0.765 m) para configuraciones Na y Nb, resaltados por la eficacia del uso de secciones Circulares como Parabólicas sobre las Elípticas. Asimismo, se logró este punto a partir de peraltes de acartelamiento mayores o iguales 0.35 veces la altura de entrepiso (0.8925 m) para la configuración Nc, nuevamente por la mayor eficacia de secciones Circulares y Parabólicas. Dichos puntos reflejados en Derivas Pseudo-plásticas calculadas para esos casos de hasta 0.00438 en dirección X.

Esta optimización es replicada en los sistemas estructurales Duales, permitiendo que el comportamiento sísmico sea caracterizado por un aumento más dramático de rigidez cumpliendo así con los requisitos de la norma E.030 (art. 32) en un amplio margen residual para todos los 45 casos de análisis. Este hecho reflejado en Derivas Pseudo-plásticas calculadas para esos casos de hasta 0.00264, en la dirección más crítica X.



Similarmente de acuerdo con estos resultados, se registraron reducciones de Máximas Derivas Pseudo-plásticas entre Sistemas Aporticados configurados con Vigas Acarteladas Ahusadamente y Sistemas Aporticados convencionales de hasta -44.08% en la dirección más crítica según la tesis de Herrera Sanabria (2017), y por otro lado, los remarques de la investigación de Jolly y Vijayan (2016) que indican ganancias de rigidez en pórticos simples por la incorporación de Vigas Acarteladas Ahusadas.

De igual manera se observó, en esta tesis, cómo estas reducciones de Derivas Pseudo-plásticas fueron vinculadas con las reducciones de Desplazamientos Pseudo-plásticos laterales; correspondientemente documentándose decrementos porcentuales iguales o mayores. Lográndose desplazamientos máximos de 6.71 cm para Sistemas Aporticados Acartelados, y de hasta 4.31 cm para Sistemas Acartelados Duales en la dirección X; mediante la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Parabólica y en configuración Nb para ambos Sistemas. Por lo que, al reaccionar ante esto se puede evaluar otra conveniencia para el comportamiento sismorresistente de estos sistemas no convencionales; debido a que, al restringirse los desplazamientos máximos, las juntas sísmicas de separación entre edificios calculadas teórica y normativamente (según E.030, art. 33) pueden ser considerablemente más cortas.

El soporte del estado de arte en la investigación de esta variable en Acartelamientos Ahusados para sistemas estructurales Aporticados viene seguido por la presentación de reducciones de Desplazamientos Laterales absolutos de hasta un -47.75% en ambas direcciones, dentro de los resultados del artículo publicado por Priyanka, et al. (2017). Y luego, por las reducciones descritas por Herrera Sanabria (2017) en su tesis del análisis a una pequeña edificación de seis pisos, consistiendo en un máximo reducido de -44.66% para la dirección más crítica X.

### ***1.3. Incremento de Momentos Modales de Volteo Basales***

Comentando sobre los resultados de Momentos Modales de Volteo Basales por la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica a los Sistemas Aporticados y Duales, es pertinente resaltar que las magnitudes de estos momentos son proporcionales a las Cortantes Modales Basales, por lo que las variaciones frente a los casos0 de control son prácticamente iguales. Por otro lado, las magnitudes de estos incrementos son fundamentadas debido a las sobrecargas de peso/masa estructural por los Acartelamientos “voluminosos” incorporados en los extremos superiores de cada pórtico de planta.



#### **1.4. *Disminución de Periodos de Vibración***

Otra característica a resaltar del comportamiento sísmico de los sistemas estructurales Aporticados y Duales con Vigas Acarteladas de Sección Cónica, es la simplificación de Periodos de Vibración, que demuestran en esta tesis, contra los Periodos de Vibración de los sistemas estructurales convencionales. Registrándose mayores simplificaciones en los modos principales de vibración en sentido del eje X, logrando así valores de hasta 0.518 s para sistemas Aporticados Acartelados, y de hasta 0.473 s para sistemas Acartelados Duales, para esa dirección. Esta considerable reducción puede estar correlacionada con la optimización de la propiedad de disipación de energía estudiada experimentalmente por Tena-Colunga, et al. (2017) en Vigas con Acartelamiento Ahusado frente a Vigas Prismáticas. Además, también los resultados de este parámetro son compatibles indirectamente con las reducciones de hasta -32.46% logradas en el trabajo de Priyanka, et al. (2017) para una edificación probeta con un sistema estructural Aporticado de 10 niveles.

#### **1.5. *Excentricidades de Entrepiso, Torsiones Modales e Índices de Irregularidad Torsional***

Comentando sobre los resultados sobre las causas y efectos de Torsión por la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica a los Sistemas Aporticados y Duales, se ha de reconocer que en primer lugar dependen de las excentricidades provocadas por las rigideces añadidas, y luego por las fuerzas Cortantes de entrepiso. Las Vigas Acarteladas de hecho demuestran reducir las excentricidades en la mayoría de los casos, pero al ser expuestas a las Cortantes Modales amplificadas (por su incorporación) resulta consecuentemente en que las Torsiones Modales incrementen inevitablemente en comparación contra los sistemas estructurales convencionales, teniendo mayor impacto por la acción del espectro sísmico en dirección X.

No obstante, al evaluar los Índices de Irregularidad Torsional, se observa que para los sistemas estructurales Aporticados Acartelados las variaciones resultan en ligeros decrementos de este parámetro contra el sistema estructural Aporticado y para la acción de ambos espectros sísmicos. Adversamente, para los sistemas estructurales Duales Acartelados las variaciones atentan a ser ligeramente considerables, pero no logran generar alguna irregularidad estructural al sistema en todos los diferentes casos.

Por lo que se puede intuir que la inclusión de estos elementos Acartelados en ambos sistemas estructurales, retroactivamente también provee la rigidez torsional que contrarresta los incrementos de Torsión por la propia inclusión de las Vigas Acarteladas.



Aunque después de todo, al comparar los resultados de la incorporación las Vigas de Sección Cónica a los sistemas Aporticados con los requisitos de la norma E.030, se puede declarar que ninguno de los casos analizados ayuda lo suficientemente como para salvar a esas propuestas convencionales de ser consideradas torsionalmente irregulares; siendo la reducción más cercana la alcanzada por el caso SACH<sub>5</sub>N<sub>b</sub>R<sub>8</sub> hacia un Índice de 1.309.

### **1.6. Cuotas de peso estructural**

Al incluir estos Perfiles de Sección Cónica debajo de las vigas prismáticas los sistemas estructurales Aporticados adquieren un monto adicional de concreto armado, que tanto en peso como en volumen suman mínimamente un +3.3%, +1.8% y +1.0% para las configuraciones Na, Nb y Nc; respectivamente. Por lo cual, esto repercutiría económicamente en el diseño de alguna de estas propuestas hipotéticas, si es que no se considerara rebajar las secciones de las columnas en un redimensionamiento posterior. Siendo posible, ya que se tiene como ventaja la holgura de rigidez que proveen estos sistemas estructurales no convencionales. La posibilidad de este punto es reforzada con lo que se observa suceder en los casos de incorporación de estas Vigas No Prismáticas a los sistemas estructurales Duales, donde con los primeros casos de menor peralte se registran reducciones de Peso estructural de -0.3%, -1.7% y -2.4% para las configuraciones Na, Nb y Nc; respectivamente. Casos tales que cumplen en totalidad con la norma peruana E.030 y aún tienen esa holgura de rigidez que puede ser aprovechada para optimizar considerablemente la economía de las propuestas hipotéticas, en los consiguientes redimensionamientos.

### **1.7. Perfiles de sección cónica, peraltes de acartelamiento y configuraciones**

Al revisar los resultados sobre la variabilidad que existe entre la tipología de incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica tanto a sistemas estructurales Aporticados como a Duales es importante reconocer las eficiencias estructurales que estas combinaciones casuísticas hipotéticas brindan al comportamiento sísmico en sus diferentes variables de estudio.

Primeramente, se ha de resaltar que las Vigas Acarteladas de Sección Parabólica son las que dotan a los sistemas estructurales convencionales de mayores rigideces tanto traslacionales como rotacionales, incrementos de rigidez (según los parámetros que la miden en esta tesis) que son muy comparables con los que proveen las Vigas Acarteladas de Sección Circular dada a su cercana similitud. Teniéndose que, la diferencia máxima de





incrementos de rigidez (en comparación contra SEA/SED) entre ambas Secciones de Acartelamiento solo es de hasta 2.0% para el parámetro de Máximas Derivas Pseudo-plásticas. Por otro lado, la diferencia que existe entre los incrementos de rigidez de las Secciones de Acartelamiento Parabólica y Elíptica es notoria, con un máximo de 15.7% para las Máximas Derivas Pseudo-plásticas alcanzadas.

En segundo lugar, se ha de reportar que, para la distribución de este tipo de Vigas de Sección Variable a lo largo de los sistemas estructurales Aporticado y Dual, la configuración Nb (incorporación de Vigas Acarteladas solo en sentido X) es la más eficiente al proveer a la estructura de incrementos de rigidez máximos y necesarios sin elevar los volúmenes de material estructural. En comparación, la diferencia máxima de incrementos de rigidez contra la configuración Na es de 4.4% en cuanto a Máximas Derivas Pseudo-plásticas, y la máxima diferencia de incrementos de rigidez contra la configuración Nc recae en un valor de 23.5% en cuanto a Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos. Por otro lado, mientras la configuración Nb puede alzar en un 2.5% los Índices de Irregularidad Torsional en la dirección más crítica X, la configuración Na puede aumentarlos hasta en un 22.2%, y la configuración Nc, hasta en un 12.1%.

Y, en tercer lugar, se reafirma que como era de esperarse los incrementos de rigidez lateral y traslacional que obtienen los Sistemas Estructurales son proporcionales a los peraltes de acartelamiento de las Vigas de Sección Variables incorporadas en cada caso, pero tienen una forma particular de variar según las curvas expuestas en los Resultados.

### **1.8. *Novedad de resultados obtenidos***

Hasta ahora en lo que respecta al estado de arte nacional e internacional, no se contaba públicamente con una investigación previa que diera inicio al estudio de las ventajas y desventajas de la incorporación de Vigas Acarteladas Circular, Elíptica y Parabólicamente, en primera instancia hacia edificaciones multinivel, en segunda instancia hacia sistemas estructurales Acartelados y Duales, en tercera instancia considerando una variedad de peraltes de acartelamiento y en cuarta instancia probando con tres diferentes configuraciones estructurales prácticos. Esta tesis fue desarrollada en parte, siguiendo las recomendaciones finales hechas por los estudios experimentales y numéricos sobre Vigas y Pórticos Acartelados Ahusadamente por Tena-Colunga, et al. (2007, 2012) para evaluar comportamientos sísmicos laterales en función a diferentes *sets* de parámetros. Por lo cual, se ha pretendido seguir ampliando el horizonte de conocimiento y optar por virar hacia el estudio de este otro tipo de Vigas de Sección no Prismática.



### **1.9. Variación racional de Costos de Ejecución de Vigas Acarteladas**

Hasta el momento, y de acuerdo con los alcances de esta investigación, valiéndose únicamente en base a la geometría de las Vigas Acarteladas de Sección Cónica se pudo establecer relaciones generalizadas de variación en lo que respecta a algunos costos de ejecución necesarios, tales son los costos del concreto empleado y los costos de encofrado.

No obstante, dado que aún no hay un diseño estructural formalizado por investigación para estos Acartelamientos y por lo tanto tampoco una cuantía de acero estipulada, ni se han estudiado experimentalmente in situ cuales serían las alternativas de encofrado, ni los procedimientos de armado en acero, ni la mano de obra requerida, ni las herramientas o equipo a contarse. Por el momento, solo se puede estimar variaciones de metrados prácticas a tomarse en cuenta para futuros estudios, ya que estos inciden directamente en los costos, y estos mismos son directamente relativos a los metrados sea una moneda de cambio.

Para tal objetivo suplementario tomando nuevamente como excusa la edificación de estudio de esta tesis, se analizó los metrados de encofrado y los metrados de concreto en función al acartelamiento cónico de las vigas de mayor y menor dimensión de los sistemas estructurales estudiados, siendo las vigas:

- 1) La viga principal de mayor luz, situada entre los ejes 5-7 y sobre el eje A. Con una longitud de 5.70m, peralte de 0.50m y ancho de 0.30m.
- 2) La viga secundaria de menor luz, situada entre los ejes D-E y sobre el eje 6. Con una longitud de 2.65m, peralte de 0.35m y ancho de 0.25m.

Y en segundo lugar se analizó estos metrados en función a los peraltes de acartelamiento señalados en la investigación (H1, H2, H3, H4, H5). Para así en cada sub-caso comparar porcentualmente cuántos metros cuadrados de encofrado y metros cúbicos de concreto eran requeridos adicionalmente para ejecutar determinada Viga Acartelada, frente a los metros cuadrados de encofrado y metros cúbicos de concreto requeridos para ejecutar la misma Viga pero Prismática.

Hallándose así que, para la viga principal de mayor luz, un Acartelamiento de Sección Cónica particular podría repercutir entre un incremento de un +4.6% a un +34.1% del costo material del encofrado requerido, así como podría repercutir entre un incremento de +5.9% a un +43.3% del costo del concreto para el vaciado. Teniéndose que los incrementos crecen según los peraltes de acartelamiento y son mayores en Acartelamientos de Sección Parabólica, que de Sección Circular, y luego que de Sección Elíptica (como la Tabla V-1 muestra)



**Tabla V-1**

Variabilidad en costos de encofrado y concreto según los metrados en Vigas con y sin Acartelamiento de la viga principal más larga

Análisis de variabilidad de metrado de encofrado y metrado de concreto entre: Viga con Acartelamiento y sin Acartelamiento								
Viga principal (5-7)/A Dim: 5.7m*0.5m*0.3m	Acartelamiento Parabólico		Acartelamiento Circular		Acartelamiento Elíptico		Prismática	
	Caras (m <sup>2</sup> )	Base (m <sup>2</sup> )	Caras (m <sup>2</sup> )	Base (m <sup>2</sup> )	Caras (m <sup>2</sup> )	Base (m <sup>2</sup> )	Caras (m <sup>2</sup> )	Base (m <sup>2</sup> )
H1	6.226	1.71264	6.222	1.71264	6.036	1.7178	5.7	1.71
H2	6.712	1.71978	6.704	1.71984	6.348	1.73418	Encofrado (m <sup>2</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> )
H3	7.194	1.73133	7.19	1.73154	6.66	1.7568	7.41	0.855
H4	7.686	1.74705	7.648	1.74771	6.972	1.78434		
H5	8.17	1.76691	8.108	1.76826	7.284	1.81608		
	Encofrado (m <sup>2</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> )	Encofrado (m <sup>2</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> )	Encofrado (m <sup>2</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> )		
H1	7.93864	0.9339	7.93464	0.9333	7.7538	0.9054		
H2	8.43178	1.0068	8.42384	1.0056	8.08218	0.9522		
H3	8.92533	1.0791	8.92154	1.0785	8.4168	0.999		
H4	9.43305	1.1529	9.39571	1.1472	8.75634	1.0458		
H5	9.93691	1.2255	9.87626	1.2162	9.10008	1.0926		
	ΔEncofrado	ΔConcreto	ΔEncofrado	ΔConcreto	ΔEncofrado	ΔConcreto		
H1	7.1%	9.2%	7.1%	9.2%	4.6%	5.9%		
H2	13.8%	17.8%	13.7%	17.6%	9.1%	11.4%		
H3	20.4%	26.2%	20.4%	26.1%	13.6%	16.8%		
H4	27.3%	34.8%	26.8%	34.2%	18.2%	22.3%		
H5	34.1%	43.3%	33.3%	42.2%	22.8%	27.8%		

Analizando la segunda viga que era secundaria, un Acartelamiento de Sección Cónica particular podría repercutir entre un incremento de un +14.5% a un +61.2% del costo material del encofrado requerido, así como podría repercutir entre un incremento de +17.6% a un +75.6% del costo del concreto para el vaciado. Tal que, los incrementos crecen según los peraltes de acartelamiento y son mayores en Acartelamientos de Sección Parabólica, luego de Sección Circular, y luego Sección Elíptica (como en la Tabla V-2).

**Tabla V-2**

Variabilidad en costos de encofrado y concreto según los metrados en Vigas con y sin Acartelamiento de la viga secundaria más corta

Análisis de variabilidad de metrado de encofrado y metrado de concreto entre: Viga con Acartelamiento y sin Acartelamiento								
Viga secundaria (D-E)/6 Dim: 2.65m*0.35m*0.25m	Acartelamiento Parabólico		Acartelamiento Circular		Acartelamiento Elíptico		Prismática	
	Caras (m <sup>2</sup> )	Base (m <sup>2</sup> )	Caras (m <sup>2</sup> )	Base (m <sup>2</sup> )	Caras (m <sup>2</sup> )	Base (m <sup>2</sup> )	Caras (m <sup>2</sup> )	Base (m <sup>2</sup> )
H1	2.366	0.6826	2.354	0.6831	2.182	0.700675	1.855	0.6625
H2	2.592	0.703375	2.56	0.705	2.326	0.730875	Encofrado (m <sup>2</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> )
H3	2.816	0.730275	2.75	0.734225	2.472	0.7659	2.5175	0.231875
H4	3.066	0.760425	2.92	0.7702	2.616	0.804675		
H5	3.258	0.7991	3.07	0.812425	2.762	0.846425		
	Encofrado (m <sup>2</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> )	Encofrado (m <sup>2</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> )	Encofrado (m <sup>2</sup> )	Concreto (m <sup>3</sup> )		
H1	3.0486	0.29575	3.0371	0.29425	2.882675	0.27275		
H2	3.295375	0.324	3.265	0.32	3.056875	0.29075		
H3	3.546275	0.352	3.484225	0.34375	3.2379	0.309		
H4	3.826425	0.38325	3.6902	0.365	3.420675	0.327		
H5	4.0571	0.40725	3.882425	0.38375	3.608425	0.34525		
	ΔEncofrado	ΔConcreto	ΔEncofrado	ΔConcreto	ΔEncofrado	ΔConcreto		
H1	21.1%	27.5%	20.6%	26.9%	14.5%	17.6%		
H2	30.9%	39.7%	29.7%	38.0%	21.4%	25.4%		
H3	40.9%	51.8%	38.4%	48.2%	28.6%	33.3%		
H4	52.0%	65.3%	46.6%	57.4%	35.9%	41.0%		
H5	61.2%	75.6%	54.2%	65.5%	43.3%	48.9%		

Dados estos dos muestreos extremos de vigas en Sistemas Estructurales Acartelados, se pudo observar que mientras la viga sea más corta se reportarán aún más costos adicionales de encofrado como costos de concreto que cuando la viga a ejecutar sea más larga, en comparación contra la misma viga sin acartelar o en estado prismático.



## 2. Conclusiones

### 2.1. Conclusión general

Al haber corrido los Análisis Estructurales Modales Espectrales para evaluar los comportamientos sísmicos elásticos y lineales de la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica en los Sistemas Estructurales Aporticados y Duales sobre 90 propuestas hipotéticas de estructuración para la residencial multifamiliar “Kala”, y luego haberlos comparado contra las otras dos propuestas de control SEA y SED normadas; se puede declarar que este tipo de configuraciones no convencionales conllevaron a:

- 1) Que en casi la totalidad de propuestas de Sistemas Estructurales Acartelados SAC, SAE y SAP; demostraran provocar inconvenientemente mayores fuerzas, momentos y torsiones sísmicas que los sistemas estructurales convencionales SEA y SED.
- 2) Que su adhesión en todos los casos de estudio Aporticados y Duales, ofrecieran excepcionales incrementos de rigidez traslacional en ambas direcciones sísmicas, frente a los ofrecidos por los sistemas SEA y SED, respectivamente. Permitiendo así, cumplir en un amplio rango con las restricciones de la norma peruana E.030.
- 3) Que en las propuestas Aporticadas, permitieran ligeramente reducir los índices de irregularidad torsional en ambas direcciones sísmicas; mientras que, en las propuestas Duales, incrementarían los índices levemente en la dirección sísmica más crítica X.
- 4) Que en los Sistemas Aporticados y Duales de prueba, estas incidieran en periodicidades de vibración considerablemente más bajas que los casos de control SEA y SED, respectivamente.
- 5) Que solo al influir en incrementos de hasta 16.8% de peso estructural en los sistemas estructurales Aporticados y Duales; estas indujeran a resultados bipolares en materia de fuerzas y desplazamientos, como se indicó.

Evaluando la *Hipótesis General*, que si el comportamiento sísmico estudiado mejoró al incorporar Vigas Acarteladas de Sección Cónica a los sistemas estructurales Aporticado y Dual; se puede concertar que hay más razones que apoyan que se logró una optimización estructural mediante su aporte, soportadas por el cumplimiento de los rangos permitidos por la norma E.030, criterios dinámicos y económicos; que razones para creer que su incorporación traiga desventajas incorregibles o negligentes a la seguridad civil; por ahora.



## 2.2. Conclusiones específicas

### Conclusión N° 1:

En cuanto se refiere a los resultados realizados en función a la Cortante Modal Basal, se ha llegado a determinar para la edificación de este estudio que la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica, entre los respectivos casos analizados (45), provoca negativamente a que los Sistemas Estructurales Aporticados experimenten incrementos porcentuales de esta fuerza desde +58.1% (Fig. IV-3) hasta +133.7% (Fig. IV-3) en dirección X, e incrementos desde +40.9% (Fig. IV-4) hasta +77.4% (Fig. IV-4) en dirección Y; frente al sistema de control SEA. Asimismo, se determinó que la incorporación de este tipo de vigas a Sistemas Estructurales Duales, entre los respectivos casos analizados (45), provoca también, negativamente, a que experimenten incrementos porcentuales de esta fuerza desde +34.8% (Fig. IV-5) hasta +69.6% (Fig. IV-5) en dirección X, e incrementos desde +25.4% (Fig. IV-6) hasta +45.8% (Fig. IV-6) en dirección Y; frente al sistema de control SED. Por lo tanto, la *Sub-hipótesis 1* definitivamente no se cumplió y como se corroboró, las Cortantes Modales Basales analizadas de los casos de prueba tuvieron variaciones mayores que el +60% de amplificación tope (como se especulaba) frente a las Cortantes Modales Basales de los casos de control.

### Conclusión N° 2:

En cuanto se refiere a los resultados realizados en función a la Máxima Deriva Pseudo-plástica, se ha llegado a encontrar para la edificación de este estudio que la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica, entre los respectivos casos analizados (45), provoca ventajosamente a que los Sistemas Estructurales Aporticados experimenten decrementos porcentuales de esta relación desde -15.7% (Fig. IV-9) hasta -58.0% (Fig. IV-9) en dirección X, y decrementos desde -6.8% (Fig. IV-10) hasta -55.1% (Fig. IV-10) en dirección Y; frente al sistema de control SEA. Asimismo, se ha encontrado que la incorporación de este tipo de vigas a Sistemas Estructurales Duales, entre los respectivos casos analizados (45), provoca también, ventajosamente, a que experimenten decrementos porcentuales de esta relación desde -12.8% (Fig. IV-11) hasta -59.8% (Fig. IV-11) en dirección X, y decrementos desde -19.5% (Fig. IV-12) hasta -61.8% (Fig. IV-12) en dirección Y; frente al sistema de control SED. Por lo tanto, la *Sub-hipótesis 2* se cumplió parcialmente y como se corroboró, las Máximas Derivas Pseudo-plásticas analizadas de los casos de prueba tuvieron variaciones alrededor y menores que el -50% de reducción tope (como se especulaba) frente a las Máximas Derivas Pseudo-plásticas de los casos de control.



### *Conclusión N° 3:*

En cuanto se refiere a los resultados realizados en función a la Torsión Modal Basal, se ha llegado a conocer para la edificación de este estudio que la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica, entre los respectivos casos analizados (45), provoca diferidamente a que los Sistemas Estructurales Aporticados experimenten incrementos porcentuales de este momento desde +50.8% (Fig. IV-15) hasta +95.0% (Fig. IV-15) por el Sismo en dirección X, y decrementos desde -25.0% (Fig. IV-16) hasta -88.9% (Fig. IV-16) por el Sismo en dirección Y; frente al sistema de control SEA. Luego, se llegó a conocer que la incorporación de este tipo de vigas a Sistemas Estructurales Duales, entre los respectivos casos analizados (45), provoca inconvenientemente, a que experimenten incrementos porcentuales de este momento desde +36.4% (Fig. IV-17) hasta +59.6% (Fig. IV-17) por el Sismo en dirección X, e incrementos desde +136.6% (Fig. IV-18) hasta +221.1% (Fig. IV-18) por el Sismo en dirección Y; frente al sistema de control SED. Por lo tanto, la *Sub-hipótesis 3* quedó desestimada y como se corroboró, las Torsiones Modales Basales analizadas de los casos de prueba tuvieron variaciones más diferentes que el -40% de reducción tope (como se especulaba) frente a las Torsiones Modales Basales de los casos de control.

### *Conclusión N° 4:*

En cuanto se refiere a los resultados realizados en función a la Excentricidad de entrepiso, se ha llegado a observar para la edificación de este estudio que la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica, entre los respectivos casos analizados (45), provoca positivamente a que los Sistemas Estructurales Aporticados experimenten decrementos porcentuales de esta longitud desde -51.7% (Fig. IV-21) hasta -106.5% (Fig. IV-21) en el eje X, y variaciones desde -16.4% (Fig. IV-22) hasta +2.0% (Fig. IV-22) en el eje Y; frente al sistema de control SEA. Seguidamente, se ha llegado a conocer que la incorporación de este tipo de vigas a Sistemas Estructurales Duales, entre los respectivos casos analizados (45), provoca diferidamente, a que experimenten incrementos porcentuales de esta longitud desde +131.2% (Fig. IV-23) hasta +252.0% (Fig. IV-23) en el eje X, y decrementos desde -6.7% (Fig. IV-24) hasta -22.7% (Fig. IV-24) en el eje Y; frente al sistema de control SED. Por lo tanto, la *Sub-hipótesis 4* ciertamente no se cumplió y como se corroboró, las Excentricidades de entrepiso analizadas de los casos de prueba tuvieron variaciones marcadamente diferentes que el -35% de reducción tope (como se especulaba) frente a las Excentricidades de entrepiso de los casos de control.





### *Conclusión N° 5:*

En cuanto se refiere a los resultados realizados en función al Momento Modal de Volteo Basal, se ha llegado a establecer para la edificación de este estudio que la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica, entre los respectivos casos analizados (45), provoca desventajosamente a que los Sistemas Estructurales Aporticados experimenten incrementos porcentuales de este momento desde 58.8% (Fig. IV-27) hasta 134.8% (Fig. IV-27) alrededor de Y, e incrementos desde 41.6% (Fig. IV-28) hasta 77.9% (Fig. IV-28) alrededor de X; frente al sistema de control SEA. A continuación, se ha llegado a establecer que la incorporación de este tipo de vigas a Sistemas Estructurales Duales, entre los respectivos casos analizados (45), provoca también desventajosamente, a que experimenten incrementos porcentuales de este momento desde 35.3% (Fig. IV-29) hasta 69.2% (Fig. IV-29) alrededor de Y, e incrementos desde 25.5% (Fig. IV-30) hasta 45.5% (Fig. IV-30) alrededor de X; frente al sistema de control SED. Por lo tanto, la *Sub-hipótesis 5* fue negada y como se corroboró, los Momentos Modales de Volteo Basales analizados de los casos de prueba tuvieron variaciones mayores que el +60% de amplificación tope (como se especulaba) frente a los Momentos Modales de Volteo Basales de los casos de control.

### *Conclusión N° 6:*

En cuanto se refiere a los resultados realizados en función al Periodo de Vibración, se determinó para la edificación de este estudio que la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica, entre los respectivos casos analizados (45), provoca a que los Sistemas Estructurales Aporticados experimenten decrementos porcentuales de este parámetro desde -39.3% (Fig. IV-33) hasta -62.0% (Fig. IV-33) en dirección X, y variaciones desde -28.2% (Fig. IV-34) hasta -53.5% (Fig. IV-34) en dirección Y; frente al sistema de control SEA. En seguida, se determinó que la incorporación de este tipo de vigas a Sistemas Estructurales Duales, entre los respectivos casos analizados (45), provoca a que experimenten decrementos porcentuales de este parámetro desde -28.5% (Fig. IV-35) hasta -52.3% (Fig. IV-35) en dirección X, y decrementos desde -20.0% (Fig. IV-36) hasta -47.1% (Fig. IV-36) en dirección Y; frente al sistema de control SED. Por lo tanto, la *Sub-hipótesis 6* no fue suficiente y como se corroboró, los Periodos de Vibración analizados de los casos de prueba tuvieron variaciones marcadamente diferentes que el -35% de reducción tope (como se especulaba) frente a los Periodos de Vibración de los casos de control.



### *Conclusión N° 7:*

En cuanto se refiere a los resultados realizados en función al Máximo Desplazamiento Pseudo-plástico, se ha llegado a documentar para la edificación de este estudio que la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica, entre los respectivos casos analizados (45), provoca óptimamente a que los Sistemas Estructurales Aporticados experimenten decrementos porcentuales de esta traslación desde -42.3% (Fig. IV-39) hasta -70.6% (Fig. IV-39) en dirección X, y decrementos desde -20.0% (Fig. IV-40) hasta -62.3% (Fig. IV-40) en dirección Y; frente al sistema de control SEA. Asimismo, se documentó que la incorporación de este tipo de vigas a Sistemas Estructurales Duales, entre los respectivos casos analizados (45), provoca también, óptimamente, a que experimenten decrementos porcentuales de esta traslación desde -26.1% (Fig. IV-41) hasta -64.3% (Fig. IV-41) en dirección X, y decrementos desde -24.3% (Fig. IV-42) hasta -66.6% (Fig. IV-42) en dirección Y; frente al sistema de control SED. Por lo tanto, la *Sub-hipótesis 7* no se cumplió y como se corroboró, los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos analizados de los casos de prueba tuvieron variaciones evidentemente menores que el -50% de reducción tope (como se especulaba) frente a los Máximos Desplazamientos Pseudo-plásticos de los casos de control.

### *Conclusión N° 8:*

En cuanto se refiere a los resultados realizados en función al Índice de Irregularidad Torsional, se ha llegado a documentar para la edificación de este estudio que la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica, entre los respectivos casos analizados (45), provoca diferidamente a que los Sistemas Estructurales Aporticados experimenten variaciones porcentuales de este índice desde +5.2% (Fig. IV-45) hasta -8.1% (Fig. IV-45) por Sismo en dirección X, y decrementos desde -1.0% (Fig. IV-46) hasta -3.4% (Fig. IV-46) por Sismo en dirección Y; frente al sistema de control SEA. Asimismo, se documentó que la incorporación de este tipo de vigas a Sistemas Estructurales Duales, entre los respectivos casos analizados (45), provoca también, diferidamente, a que experimenten incrementos porcentuales de este índice desde +2.5% (Fig. IV-47) hasta +22.2% (Fig. IV-47) por Sismo en dirección X, y decrementos desde -1.6% (Fig. IV-48) hasta -13.8% (Fig. IV-48) por Sismo en dirección Y; frente al sistema de control SED. Por lo tanto, la *Sub-hipótesis 8* quedó descartada y como se corroboró, los Índices de Irregularidad Torsional analizados de los casos de prueba tuvieron variaciones que no se limitaron solamente a alcanzar el -30% de reducción tope (como se especulaba) frente a los Índices de Irregularidad Torsional de los casos de control.





### *Conclusión N° 9:*

En cuanto se refiere a los resultados realizados en función al Peso Estructural, se ha llegado a evaluar para la edificación de este estudio que la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica, entre los respectivos casos analizados (45), provoca a que los Sistemas Estructurales Aporticados experimenten incrementos porcentuales de esta fuerza desde +1.0% (Fig. IV-50) hasta +16.8% (Fig. IV-50); frente al sistema de control SEA. Asimismo, se evaluó que la incorporación de este tipo de vigas a Sistemas Estructurales Duales, entre los respectivos casos analizados (45), provoca a que experimenten variaciones porcentuales de esta fuerza desde -2.4% (Fig. IV-51) hasta +11.8% (Fig. IV-51); frente al sistema de control SED. Por lo tanto, la *Sub-hipótesis 9* no llegó a cumplirse y como se corroboró, los Pesos Estructurales analizados de los casos de prueba tuvieron variaciones que no alcanzaron el +35% de amplificación tope (como se especulaba) frente a los Pesos Estructurales de los casos de control.

## **3. Recomendaciones**

### *Recomendación N° 1:*

Se recomienda, según se intuye de los resultados de Máximas Derivas Pseudo-plásticas y Pesos Estructurales de los Sistemas Estructurales Aporticados y Duales configurados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica, aplicar los tipos y métodos de análisis estructural de esta investigación a un segundo estudio, en el cual se evalúen reducciones a las secciones transversales de las columnas de las propuestas Acarteladas de estructuración que hayan cumplido con los requisitos de rigidez de la Norma Peruana E.030. Ya que, se especula objetivamente que algunos de los casos de esta tesis pueden reducir parte de su volumen de material mecánico, para aun así continuar cumpliendo con las Máximas Derivas permisibles normadas.

### *Recomendación N° 2:*

Se recomienda realizar una ampliación complementaria a este estudio donde se evalué una comparación entre casos de esta tesis y casos cuando el peralte medio de las Vigas Acarteladas sea reducido o incrementado para valores que no necesariamente cumplan con los procedimientos de pre-dimensionamiento pero que también sean sostenibles para la arquitectura interna; analizándose las nuevas configuraciones de estos Sistemas Estructurales Acartelados bajo las variables que se crea más convenientes



extraídas de esta investigación. En orden de así ampliar el conocimiento que se tiene de la eficacia que este tipo de sistemas no convencionales puede prestar.

*Recomendación N° 3:*

Se recomienda aplicar los procedimientos, tipos, métodos de análisis y asuntos llevados a cabo en esta tesis hacia otras estructuras de edificaciones multifamiliares que posean diferentes dimensiones en sus sistemas en cuanto a planta como en elevación, así como que puedan exponer otras irregularidades estructurales geométricas diferentes a las de esta investigación. Para de manera consecuente verificar si la incorporación estos elementos no prismáticos a propuestas de Sistemas Estructurales Aporticados y Duales, puede contrarrestar la aparición de irregularidades estructurales analíticas.

*Recomendación N° 4:*

Se recomienda como netamente necesario elevar análisis estructurales donde se considere modelos numéricos completamente idealizados con discretizaciones a elementos bidimensionales para los Sistemas Estructurales Aporticados y Duales configurados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica, en orden de así evaluar de manera más precisa su comportamiento mecánico lineal elástico y entre otras variables poder calcular los esfuerzos y deformaciones internas que sufren ante la aplicación externa de fuerzas o desplazamientos.

*Recomendación N° 5:*

Se recomienda continuar la línea de investigación llevando a cabo análisis estructurales estáticos no lineales a Sistemas Estructurales Aporticados y Duales configurados con Vigas Acarteladas de Sección Cónica considerando no linealidad del material, momentos de segundo orden y desplazamientos largos; para estudiar el mecanismo de falla en marcos o estructuras completas de edificaciones multinivel, y consecuentemente comparar las ductilidades, procesos de rotulamiento y vulnerabilidades por aparición del fenómeno de columnas cortas; frente a los sistemas estructurales convencionales.

*Recomendación N° 6:*

Se recomienda proseguir en un futuro con los análisis estructurales experimentales en laboratorio sobre este tipo de Vigas Acarteladas para prototipos escalados y de tamaño real vaciados en concreto simple de diferentes propiedades mecánicas o en concreto armado iterando maneras convencionales y arbitrarias de armado del acero de refuerzo longitudinal



y transversal, para así obtener un acercamiento al mecanismo de falla individual de estos elementos no prismáticos ante fuerzas cortantes estáticas monotónicas y cíclicas.

*Recomendación N° 7:*

Otras de las variables de comportamiento sísmico que se requieren conocer son los amortiguamientos y aceleraciones producidas por la incorporación de Vigas Acarteladas de Sección Cónica a sistemas estructurales. Por lo que, eventualmente se deberían ejecutar análisis estructurales de Tiempo-Historia considerando no linealidades geométricas, no linealidades mecánicas, y una serie de registros sísmicos de la región; para tener acercamientos más precisos al comportamiento sísmico “real” de los sistemas no convencionales planteados.

*Recomendación N° 8:*

Finalmente se recomienda proseguir con el refinamiento de los modelos numéricos de discretizaciones tridimensionales sobre el estudio de estos elementos, a partir de la data recolectada de varias tandas de estudios experimentales a Vigas Acarteladas de Sección Cónica de Concreto Armado, que ayude a formular todas las no linealidades requeridas para simular comportamientos mecánicos válidos considerando modelamientos de acero de refuerzo dentro del concreto y su interacción; en orden de lograr definir métodos de Diseño Estructural, consecuentemente válidos, en función compuesta de los procesos de plastificación, mecanismos de fractura y condiciones de colapso determinados paramétricamente.

*Recomendación N° 9:*

Complementariamente, es necesario recalcar que se realicen estudios de comportamiento no lineal en sistemas estructurales Aportados y Duales Acartelados con Vigas de Sección Cónica, enfocados a analizar las tensiones en los nudos y puntos de inflexión de los encuentros Viga Acartelada-Columna como Viga Acartelada-Muro.

*Recomendación N° 10:*

En última instancia, se requiere evaluar como en los diseños estructurales consecuentes para sistemas Aportados y Duales repercutirían en los Costos de Ejecución, teniendo en cuenta volúmenes de material, metrados de acero, procedimientos de armado de acero y encoframiento, entre otros. Comparándolos nuevamente contra los presupuestos que ofrecerían los diseños para las contrapartes de sistemas estructurales convencionales.



## Glosario

- **Acartelamiento ahusado.** – Tipo de acartelamiento longitudinal caracterizado por estar compuesto de variaciones de peralte, desde los extremos del elemento tipo barra, de acuerdo a funciones lineales, describiendo así un arco triangular o trapezoidal.
- **Acartelamiento positivo.** – Forma de acartelamiento en la cual estrictamente se le provee al elemento estructural tipo barra de incrementos de peralte en toda o parte de su longitud, respetando las medidas mínimas de pre-dimensionamiento prismático del elemento.
- **Acartelamiento negativo.** – Forma de acartelamiento en la cual se opta por decrementos de peralte en parte o en toda la longitud del elemento estructural tipo barra, no considerando las medidas mínimas de pre-dimensionamiento prismático del elemento.
- **Configuración estructural.** – Manera de incorporar tipos de elementos estructurales en la geometría del sistema estructural, tanto en planta como en elevación.
- **Diafragma de entrepiso.** – Contrición que se le aplica a los nodos analíticos del modelamiento numérico del entrepiso de una estructura multinivel para que admitan desplazamientos y/o rotaciones restringidas o necesarias, prácticamente.
- **Dimensionamiento estructural.** – Procedimiento final del diseño estructural en el cual se pasa a documentar formalmente las medidas y propiedades mecánicas que cada elemento estructural y sus complementos funcionales, han de exhibir en la realidad constructiva.
- **Discretización.** – Proceso que consiste en dividir el continuo del cuerpo mecánico de un elemento estructural en un número determinado de partes para así poder facilitar el análisis en los puntos requeridos y con una precisión necesaria.
- **Idealización analítica.** – Modelamiento objetivo de un sistema físico, en este caso sobre una estructura, que esta provisto de data numérica (aproximada) en función a dimensiones y propiedades físicas de los elementos que la componen; en orden de así poder analizarla.
- **Irregularidad analítica.** – Referido a la irregularidad estructural que necesariamente debe ser verificada por un pre-análisis hecho sobre la idealización geométrica y mecánica de la propuesta de la estructura en turno.
- **Irregularidad geométrica.** – Referido a la irregularidad estructural que solo necesita ser verificada mediante mediciones geométricas dentro de los planos arquitectónicos de la propuesta en turno.



- **Modelo numérico.** – Modelo computacional de resolución por métodos numéricos que implementa el software de acuerdo a condiciones de idealización, discretización, iteración y tipos de análisis estructural.
- **Ortotrópico.** – Característica de un elemento estructural cuando sus capacidades mecánicas varían en las dimensiones que lo compongan, debido a disposiciones geométricas de forma o por la misma composición del material.
- **Periodo traslacional.** – Referido al periodo de vibración ideal que experimenta una estructura cuando su sistema solo responde a traslaciones por efecto de fuerzas dinámicas externas, mas no a rotaciones; debido a las restricciones libertad asignados.
- **Pre-dimensionamiento estructural.** – Procedimiento por el cual se asignan dimensiones mínimas a la geometría de los elementos estructurales de un sistema, con el fin de que la propuesta en turno sea verificada por análisis preliminares.
- **Pseudo-plástico.** – Referido a una amplificación normada (E.030-art.) que se provee a un resultado obtenido, que solo considera modelos de comportamiento elástico del material; con el objetivo de corregirlo y que este pueda aproximarse al resultado que se obtendría teniendo en cuenta un análisis estructural con modelos de comportamiento plástico.
- **Redimensionamiento estructural.** – Procedimiento por el cual se reconsideran reducciones o incrementos a las pre-dimensiones de los elementos estructurales de un sistema, con el fin de optimizar la propuesta según a los índices de seguridad requeridos y la economía de material.
- **Rigidez rotacional.** – Relación mecánica de oposición que tiene un elemento o sistema estructural a ser girado, medido entre el momento externo aplicado y las rotaciones resultantes.
- **Rigidez traslacional.** – Relación mecánica de oposición que tiene un elemento o sistema estructural a ser desplazado, medido entre la fuerza externo aplicada y las traslaciones resultantes.
- **Simulación.** – Método de análisis cuasi-experimental basado en la replicación de un fenómeno natural en un modelo empírico a escala o analítico en condiciones matemáticamente formuladas.



## Referencias

Balduzzi, G., Aminbaghai, M., Sacco, E., Füssl, J., Eberhardsteiner, J., y Auricchio, F. (2016). Non-prismatic beams: A simple and effective Timoshenko-like model. *International Journal of Solids and Structures*, 90, 236-250. doi:10.1016/j.ijsolstr.2016.02.017

Barbat, A. H., y Oller, S. (1998). *Conceptos de cálculo de estructuras en las normativas de diseño sismorresistente* (Primera ed.). (A. H. Barbat, Ed.) Barcelona, Barcelona, España: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.

Basu, D., y Jain, S. K. (2006). Alternative method to locate centre of rigidity in asymmetric buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*(36), 965-973. doi:10.1002/eqe.658

Bathe, K.-J. (2016). *Finite Element Procedures* (Segunda ed.). Watertown, Massachusetts, Estados Unidos: Pearson.

Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., y Mazurek, D. F. (2011). *Statics and mechanics of materials* (Primera ed.). Storrs, Connecticut, Estados Unidos: McGraw Hill.

Benavente Velasquez, R., y Baca Vidal, C. F. (2004). *Estudios del Mapa de Peligros de la Ciudad del Cusco*. INDECI, PNUD. Cusco, Perú: INDECI.

Benavente, C., y Taipe, E. (2010). *Monitoreo de las fallas activas en la región Cusco*. INGEMMET. Cusco, Perú: Ministerio de Energía y Minas del Perú.

Boyd, T. D. (1978). The Arch and the Vault in Greek Architecture. *American Journal of Archaeology*, 82(1), 83-100. doi:10.2307/503797

Carr, A. J. (1994). Dynamic Analysis of Structures. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering*, 27(2), 129-146.

Cassano, A. (2009). *Análisis de estructuras bajo acciones sísmicas*. Paraná, Paraná, Argentina: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional - edUTecNe.

Celigüeta Lizarza, J. T. (2011). *Método de los Elementos Finitos para el Análisis Estructural* (Cuarta ed.). San Sebastián, Guipúzcoa, España: Tecnun.

Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of Structures* (Cuarta ed.). Berkeley, California, Estados Unidos: Pearson.

CSI. (2014). *CSI Knowledge Base*. (J. Napier, Ed.) Obtenido de Response-spectrum analysis: [www.wiki.csiamerica.com/display/kb/Response-spectrum+analysis](http://www.wiki.csiamerica.com/display/kb/Response-spectrum+analysis)

Danj, D. (2014). *Shear Walls - Types of Shear Walls and its efficiency*. Obtenido de the Constructor: [www.theconstructor.org/structural-engg/shear-wall-types-efficiency/6820/](http://www.theconstructor.org/structural-engg/shear-wall-types-efficiency/6820/)

De Arkitectura. (2014). *Arquitectura Sismo Resistente*. Obtenido de De Arkitectura: [www.dearkitectura.blogspot.com/2011/11/la-arquitectura-anti-sismica.html](http://www.dearkitectura.blogspot.com/2011/11/la-arquitectura-anti-sismica.html)

Dino. (2016). *Wikipedia*. Obtenido de Parabolic arch: [www.en.wikipedia.org/wiki/Parabolic\\_arch#/media/File:Parabola\\_graphed\\_against\\_a\\_catenary\\_upside\\_down\\_view.png](http://www.en.wikipedia.org/wiki/Parabolic_arch#/media/File:Parabola_graphed_against_a_catenary_upside_down_view.png)



- Enciso Valdivia, F. A. (2014). *Procedimiento para el Análisis Dinámico de Estructuras usando el Método de los Elementos Finitos*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica. Lima, Perú: PUCP.
- Ginovart, J. L., Coll-Pla, S., Costa-Jover, A., y López Piquer, M. (2017). Hooke's Chain Theory and the Construction of Catenary Arches in Spain. *International Journal of Architectural Heritage*, 11(5), 703-716. doi:10.1080/15583058.2017.1290851
- Guardia Anampa, P. A. (2011). *Determinación de la superficie de acoplamiento sísmico interplaca en el borde occidental del Perú*. Facultad de Geología, Geofísica y Minas, Escuela Profesional de Ingeniería Geofísica. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Harmsen, T. E. (2017). *Diseño de estructuras de concreto armado* (Quinta ed., Vol. I). Lima, Lima, Perú: Fondo Editorial Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hayes, L. (2013). *Architizer*. (L. Grozdanic, Editor, y Z. Hadid, Productor) Obtenido de The Serpentine Sackler Gallery: [www.architizer.com/blog/inspiration/collections/reinventing-the-column/](http://www.architizer.com/blog/inspiration/collections/reinventing-the-column/)
- He, J., y Fu, Z.-F. (2001). *Modal Analysis* (Primera ed.). Oxford, Londres, Inglaterra: Butterworth-Heinemann. doi:10.1016/B978-0-7506-5079-3.50017-6
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). México D.F., México D.F., México: McGraw Hill.
- Herrera Sanabria, J. J. (2017). *Vigas de Sección Variable y su influencia en el comportamiento estructural en una vivienda multifamiliar de la ciudad de Huancayo, 2017*. Universidad Peruana de los Andes, Facultad de Ingeniería. Huancayo, Perú: Escuela Profesional de Ingeniería Civil.
- Hibbeler, R. C. (2018). *Structural Analysis* (Décima ed.). Lafayette, Louisiana, Estados Unidos: Pearson.
- Hou, C., Matsumoto, K., y Niwa, J. (2015). Shear Failure Mechanism of Reinforced Concrete Haunched Beams. *Journal of the Japan Society of Civil Engineers*, 3(1), 230-245. doi:10.2208/journalofjsce.3.1\_230
- Jarquio, R. V. (2005). Analytical Method in Structural Analysis. *International Conference on Computing in Civil Engineering 2005* (págs. 1-10). Cancún, México: American Society of Civil Engineers. doi:10.1061/40794(179)75
- Jolly, A., y Vijayan, V. (2016). Structural Behaviour of Reinforced Concrete Haunched Beam. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 7(10), 93-97.
- Kassimali, A. (2012). *Matrix Analysis of Structures* (Segunda ed.). Stamford, Connecticut, Estados Unidos: Cengage Learning.
- Kassimali, A. (2015). *Análisis estructural* (Quinta ed.). (O. Martínez, Ed., y A. A. Andrade Galán, Trad.) Carbondale, Illinois, Estados Unidos: Cengage Learning.
- Katsikadelis, J. T. (2020). *Dynamic Analysis of Structures* (Primera ed.). Kidlington, Oxford, Inglaterra: Elsevier B.V. doi:10.1016/C2018-0-03700-7
- Lago, A., Trabucco, D., y Wood, A. (2018). *Damping Technologies for Tall Buildings* (Primera ed.). Cambridge, Massachusetts, Estados Unidos: Butterworth-Heinemann. doi:10.1016/C2017-0-01327-7





Lu, D., Meng, J., Zhang, S., Shi, Y., Dai, K., y Huang, Z. (2019). Damping Ratios of Reinforced Concrete Structures Under Actual Ground Motion Excitations. En S. Pakzad (Ed.), *Proceedings of the 37th IMAC, A Conference and Exposition on Structural Dynamics 2019: Dynamics of Civil Structures*. 2, págs. 259-268. Shangai, China: Society for Experimental Mechanics. doi:10.1007/978-3-030-12115-0

Massachusetts Institute of Technology. (2017). *Abaqus-docs*. (Abaqus, Ed.) Obtenido de Response spectrum analysis: [www.abaqus-docs.mit.edu/2017/English/SIMACAEANLRefMap/simaanl-c-responsespectrum.htm](http://www.abaqus-docs.mit.edu/2017/English/SIMACAEANLRefMap/simaanl-c-responsespectrum.htm)

Mathematicae, M. (2 de marzo de 2012). *Wikipedia*. (M. Mathematicae, Editor, M. Mathematicae, Productor, y Wikipedia.org) Obtenido de Secciones cónicas: [www.en.wikipedia.org/wiki/File:Conic\\_Sections.svg](http://www.en.wikipedia.org/wiki/File:Conic_Sections.svg)

McGuire, W., Gallagher, R. H., y Ziemian, R. D. (2000). *Matrix Structural Analysis* (Segunda ed.). (W. Anderson, y K. Santor, Edits.) Nueva York, Nueva York, Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.

Miranda, E., Acosta, A., Ceferino, L., Dávalos, H., Galvis, F., Gunay, S., . . . Vera, X. (2019). *Lagunas Perú may 26, 2019 Earthquake Virtual Assesment Structural Team (VAST) Report*. National Science Foundatio, Structural Extreme Events Reconnaissance. California, Estados Unidos: VAST.

Morales Morales, R. (2006). *Diseño en Concreto Armado* (Tercera ed.). Lima, Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia.

Mossot, J. (2009). *Structurae*. (N. Janberg, Editor, J. Mossot, Productor, y Structurae) Obtenido de Two-story semi-circular arch bridges: [www.structurae.net/en/media/137466-arceuil-aqueduct](http://www.structurae.net/en/media/137466-arceuil-aqueduct)

Nizet, R. (2011). *Structurae*. (N. Janberg, Editor, N. Janberg, Productor, y Structurae) Obtenido de Ponte Santa Trinita: [www.structurae.net/en/media/184602-ponte-santa-trinita](http://www.structurae.net/en/media/184602-ponte-santa-trinita)

Padilla Quincot, G. (2010). *Propuesta para considerar la Irregularidad Estructural en la Resistencia Lateral de las estructuras en el Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima, Perú: PUCP.

Priyanka, V. M., Kumar, P., Kumar, R., y Vishalakshi, D. (2017). Effect of Haunched Beams in moment resisting RC Frames. *International Journal of civil Engineering and Technology*, 8(9), 1187-1199.

Rathod, S. (2017). *RC Framed Structure*. Obtenido de Daily civil: [www.dailycivil.com/rcc-framed-structure-building-advantages/](http://www.dailycivil.com/rcc-framed-structure-building-advantages/)

R.H.S. Enterprises Limited. (2018). *Lawrence Hall*. Obtenido de Royal Horticultural Halls: [www.rhonline.co.uk/venues/lawrence-hall](http://www.rhonline.co.uk/venues/lawrence-hall)

Robertson, D. S. (1969). *Greek and Roman Architecture* (Segunda ed.). Londres, Gran Bretaña: Press Syndicate of the University of Cambridge.

SENCICO. (2020). *Norma E.020: Cargas*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Gerencia de Investigación y Normalización. Lima, Perú: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.





SENCICO. (2020). *Norma E.030: Diseño Simorresistente*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Gerencia de Investigación y Normalización. Lima, Perú: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.

SENCICO. (2020). *Norma E.060: Concreto Armado*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Gerencia de Investigación y Normalización. Lima, Perú: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.

Serway, R. A., y Jewett, J. W. (2008). *Physics for Scientists and Engineers* (séptima ed., Vol. I). Pomona, California, Estados Unidos: Cengage.

SVS. (2017). *Structural Vibrations Solutions*. (SVS) Obtenido de ARTeMIS Modal Technical Reviews: [www.svibs.com/technical-review/](http://www.svibs.com/technical-review/)

Tena Colunga, A. (1994). Case Study: 12-story building in Mexico City (Concerns regarding the seismic design of reinforced concrete haunched beams). (ACI, Ed.) *ACI Structural Journal*, 91(3), 287-293.

Tena Colunga, A., Archundia Aranda, H., y González Cuevas, Ó. (2007). Behavior of reinforced concrete haunched beams subjected to static shear loading. *Elsevier*(30), 478-492.

Tena-Colunga, A., y Martínez-Becerril, L. A. (2012). Lateral Stiffness of Reinforced Concrete Moment Frames with Haunched Beams. En Curran Associates Inc. (Ed.), *15th World Conference on Earthquake Engineering 2012*. V, págs. 3801-3810. Lisboa, Portugal: International Association fo Earthquake Engineering.

Tena-Colunga, A., Archundia Aranda, H., y Urbina Californias, L. Á. (2017). Trabes Acarteladas de Concreto Reforzado Continuas diseñadas para fallar por Cortante. (E. Bojórquez Mora, y F. L. Silva González, Edits.) *Revista de Ingeniería Sísmica*, I(97), 1-63.

The Editors of Encyclopaedia Britannica. (2020). *Structural system*. (The Editors of Encyclopaedia Britannica, Ed.) Obtenido de Encyclopaedia Britannica: [www.britannica.com/technology/structural-system](http://www.britannica.com/technology/structural-system)

University of California, D. (2018). *UCDavis*. (UCDavis) Obtenido de Polygonal and Polyhedral Finite Elements: [www.dilbert.engr.ucdavis.edu/~suku/polyfem/](http://www.dilbert.engr.ucdavis.edu/~suku/polyfem/)

Veltkamp, M. (2007). *Free Form Structural Design* (Primera ed.). (R. Visser, Ed.) Delf, Países Bajos: TechnischeUniversiteit Delft.

Vera Barcés, F. Y. (2015). *Vigas Acarteladas de Concreto Armado, propuesta para su aplicación en el diseño de edificios sismorresistentes*. Universidad José Carlos Mariátegui, Facultad de Ingenierías. Moquegua, Perú: Universidad José Carlos Mariátegui.

Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., y Zhu, J. Z. (2005). *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals* (Sexta ed.). Barcelona, Barcelona, España: Elsevier Butterworth-Heinemann.



## **Anexos**



## 1. ANEXO 1 – Matriz de consistencia

<b>“Análisis estructural comparativo de comportamientos sísmicos entre sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, y los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales de propuesta; caso edificación “Residencial Kala”, Cusco 2021”</b>					
<i>Problemáticas</i>	<i>Objetivos</i>	<i>Hipótesis</i>	<i>Variables</i>	<i>Conceptos</i>	<i>Instrumentos</i>
<i>General</i>	<i>General</i>	<i>General</i>	<i>Independiente</i>		
¿Cómo varían los comportamientos sísmicos entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los comportamientos sísmicos de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas analizadas en concreto armado del caso proyecto multifamiliar “Kala”, en ocho niveles, en la ciudad de Cusco para 2021?	Comparar los comportamientos sísmicos entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los comportamientos sísmicos de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” de concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco, 2021.	Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales pueden demostrar ventajas significativas en materia de comportamiento sísmico considerando que los valores obtenidos en la mayoría de variables de estudio tuvieron connotaciones positivas, frente a los valores de las variables de los comportamientos sísmicos de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para la estructuración de un proyecto de edificación multifamiliar en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco para 2021.	Sistema Estructural (X1)	Conjunto de elementos conformantes de una estructura, configurados determinadamente para resistir las acciones estáticas y dinámicas a las que esta sometida una edificación civil por su medio; además de calificarse según las disposiciones de una norma de diseño estructural.	RNE- Norma E.030: Diseño Sismorresistente  Software de cálculo estructural para aplicación del Método de los Elementos Finitos  Formatos de recolección de datos tabulados
<i>Específicas</i>	<i>Específicos</i>	<i>Sub</i>	<i>Dependientes</i>		
¿Cómo varían las cortantes modales basales analizadas entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las cortantes modales basales analizadas de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021?	Comparar las cortantes modales basales entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las cortantes modales basales de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco, en 2021.	Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan negativamente a que las cortantes modales basales analizadas en estos sean mayores hasta en un 60% que las cortantes modales basales de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.	Cortantes modales basales (Y1)	Fuerzas laterales diferenciales sísmicas entre cada diafragma de entrepiso, calculadas modalmente, y en este caso, para la base de la estructura.	RNE- Norma E.030: Diseño Sismorresistente  Software de cálculo estructural para aplicación del Método de los Elementos Finitos  Formatos de recolección de datos tabulados
¿Cómo varían las máximas derivas pseudo-plásticas analizadas entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las máximas derivas pseudo-plásticas analizadas de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021?	Comparar las máximas derivas pseudo-plásticas entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las máximas derivas pseudo-plásticas de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco, en 2021.	Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan ventajosamente a que las máximas derivas pseudo-plásticas analizadas en estos sean menores hasta en un 50% que las máximas derivas pseudo-plásticas de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.	Máximas derivas pseudo-plásticas (Y2)	Maximos valores de las diferencias de desplazamientos absolutos elásticos de los centros de masa entre entrepisos consecutivos, divididas sobre las respectivas alturas de entrepiso; luego, multiplicadas por un factor según una norma.	RNE- Norma E.030: Diseño Sismorresistente  Software de cálculo estructural para aplicación del Método de los Elementos Finitos  Formatos de recolección de datos tabulados
¿Cómo varían las torsiones modales basales analizadas entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las torsiones modales basales analizadas de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021?	Comparar las torsiones modales basales entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las torsiones modales basales de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco, en 2021.	Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan convenientemente a que las torsiones modales basales analizadas en estos sean menores hasta en un 40% que las torsiones modales basales de los sistemas estructurales Aporticado y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.	Torsiones modales basales (Y3)	Momentos en la base generados por las fuerzas cortantes modales sísmicas distribuidas por entrepiso y las correspondientes excentricidades.	RNE- Norma E.030: Diseño Sismorresistente  Software de cálculo estructural para aplicación del Método de los Elementos Finitos  Formatos de recolección de datos tabulados

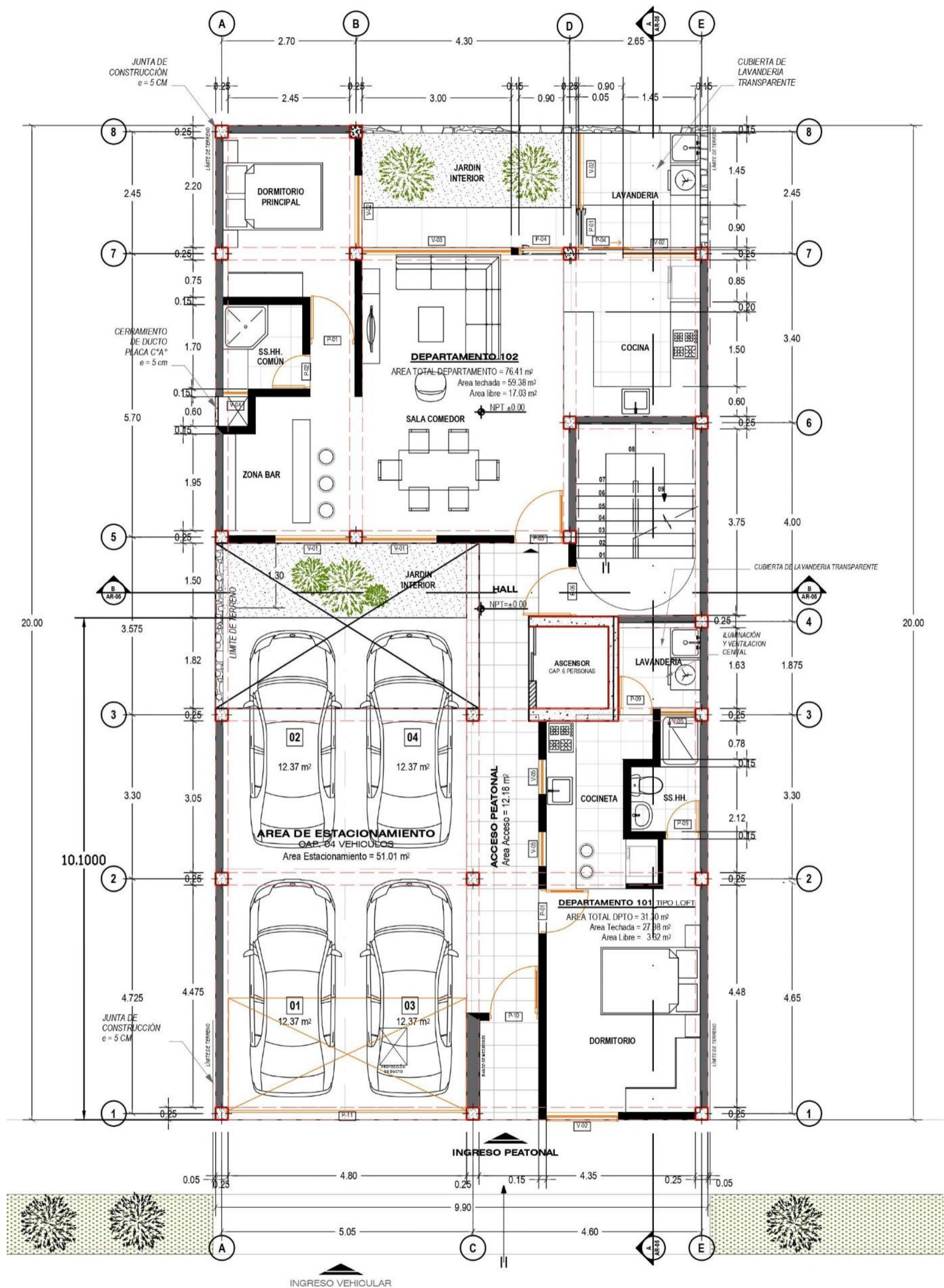


<p>¿Cómo varían las excentricidades de entrepiso analizadas entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las excentricidades de entrepiso analizadas de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021?</p>	<p>Comparar las excentricidades de entrepiso entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a las excentricidades de entrepiso de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco y en 2021.</p>	<p>Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan positivamente a que las excentricidades de entrepiso analizadas en estos sean menores hasta en un 35% que las excentricidades de entrepiso de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.</p>	<p>Excentricidades de entrepiso (Y4)</p>	<p>Distancias que existen entre los centros de rigidez CR y centros de masa CM en los entrepisos de una estructura.</p>	<p>RNE- Norma E.030: Diseño Sismorresistente  Software de cálculo estructural para aplicación del Método de los Elementos Finitos  Formatos de recolección de datos tabulados</p>
<p>¿Cómo varían los momentos modales de volteo basales analizados entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los momentos modales de volteo basales analizados de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021?</p>	<p>Comparar los momentos de volteo modales basales entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los momentos de volteo modales basales de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco y en 2021.</p>	<p>Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan desventajosamente a que los momentos modales de volteo basales analizados en estos sean mayores hasta en un 60% que los momentos modales de volteo basales de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.</p>	<p>Momentos modales de volteo basales (Y5)</p>	<p>Momentos laterales en la base generados por las fuerzas cortantes modales sísmicas y las correspondientes alturas de centro de masa de cada planta estructural.</p>	<p>RNE- Norma E.030: Diseño Sismorresistente  Software de cálculo estructural para aplicación del Método de los Elementos Finitos  Formatos de recolección de datos tabulados</p>
<p>¿Cómo varían los periodos de vibración entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los periodos de vibración analizados de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021?</p>	<p>Comparar los periodos de vibración entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los periodos de vibración de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.</p>	<p>Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan a que los periodos de vibración analizados en estos sean menores hasta en un 35% que los periodos de vibración de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.</p>	<p>Periodos de vibración (Y6)</p>	<p>Tiempos que una estructura demora en desarrollar un ciclo completo de movimiento según modos determinados cuando experimenta vibraciones.</p>	<p>RNE- Norma E.030: Diseño Sismorresistente  Software de cálculo estructural para aplicación del Método de los Elementos Finitos  Formatos de recolección de datos tabulados</p>
<p>¿Cómo varían los máximos desplazamientos pseudo-plásticos entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los máximos desplazamientos pseudo-plásticos analizados de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021?</p>	<p>Comparar los máximos desplazamientos pseudo-plásticos entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los máximos desplazamientos pseudo-plásticos de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco y en 2021.</p>	<p>Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan óptimamente a que los máximos desplazamientos pseudo-plásticos analizados en estos sean menores hasta en un 50% que los máximos desplazamientos pseudo-plásticos de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.</p>	<p>Máximos desplazamientos pseudo-plásticos (Y7)</p>	<p>Máximos desplazamientos absolutos elásticos de la estructura calculados en un análisis modal espectral y luego multiplicados por un factor según norma.</p>	<p>RNE- Norma E.030: Diseño Sismorresistente  Software de cálculo estructural para aplicación del Método de los Elementos Finitos  Formatos de recolección de datos tabulados</p>
<p>¿Cómo varían los índices de irregularidad torsional entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los índices de irregularidad torsional analizados de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021?</p>	<p>Comparar los índices de irregularidad torsional entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los índices de irregularidad torsional de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco y en 2021.</p>	<p>Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas tanto a sistemas Aporticados como a Duales conllevan óptimamente a que los índices de irregularidad torsional analizados en estos sean menores hasta en un 30% que los índices de irregularidad torsional de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.</p>	<p>Índices de irregularidad torsional (Y8)</p>	<p>Máximos desplazamientos relativos, divididos sobre los promedios de los desplazamientos relativos de los nodos extremos del entrepiso en la dirección del cálculo.</p>	<p>RNE- Norma E.030: Diseño Sismorresistente  Software de cálculo estructural para aplicación del Método de los Elementos Finitos  Formatos de recolección de datos tabulados</p>
<p>¿Cómo varían los pesos estructurales entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los pesos estructurales analizados de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; para las propuestas en concreto armado de la residencial “Kala” de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021?</p>	<p>Comparar los pesos estructurales entre los sistemas estructurales Aporticados y Duales configurados con Acartelamientos de Secciones Cónicas, frente a los pesos estructurales de los sistemas estructurales Aporticados y Dual convencionales; en orden de interpretar las ventajas y desventajas de estas propuestas para la estructuración de la residencial “Kala” en concreto armado, de ocho niveles, en la ciudad de Cusco en 2021.</p>	<p>Los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas a sistemas estructurales Aporticados conllevan a que los pesos estructurales analizados en estos sean mayores hasta en un 35% que los pesos estructurales del sistema estructural Aporticado convencional. Luego, los casos de incorporación de Vigas Acarteladas de Secciones Cónicas a sistemas estructurales Duales conllevan a que los pesos estructurales analizados en estos sean menores hasta en un 25% que los pesos estructurales del sistema estructural Dual convencional.</p>	<p>Pesos estructurales (Y9)</p>	<p>Volumen de material mecánico de todos los elementos del sistema estructural, multiplicados por los correspondientes pesos específicos.</p>	<p>RNE- Norma E.030: Diseño Sismorresistente  Software de cálculo estructural para aplicación del Método de los Elementos Finitos  Formatos de recolección de datos tabulados</p>

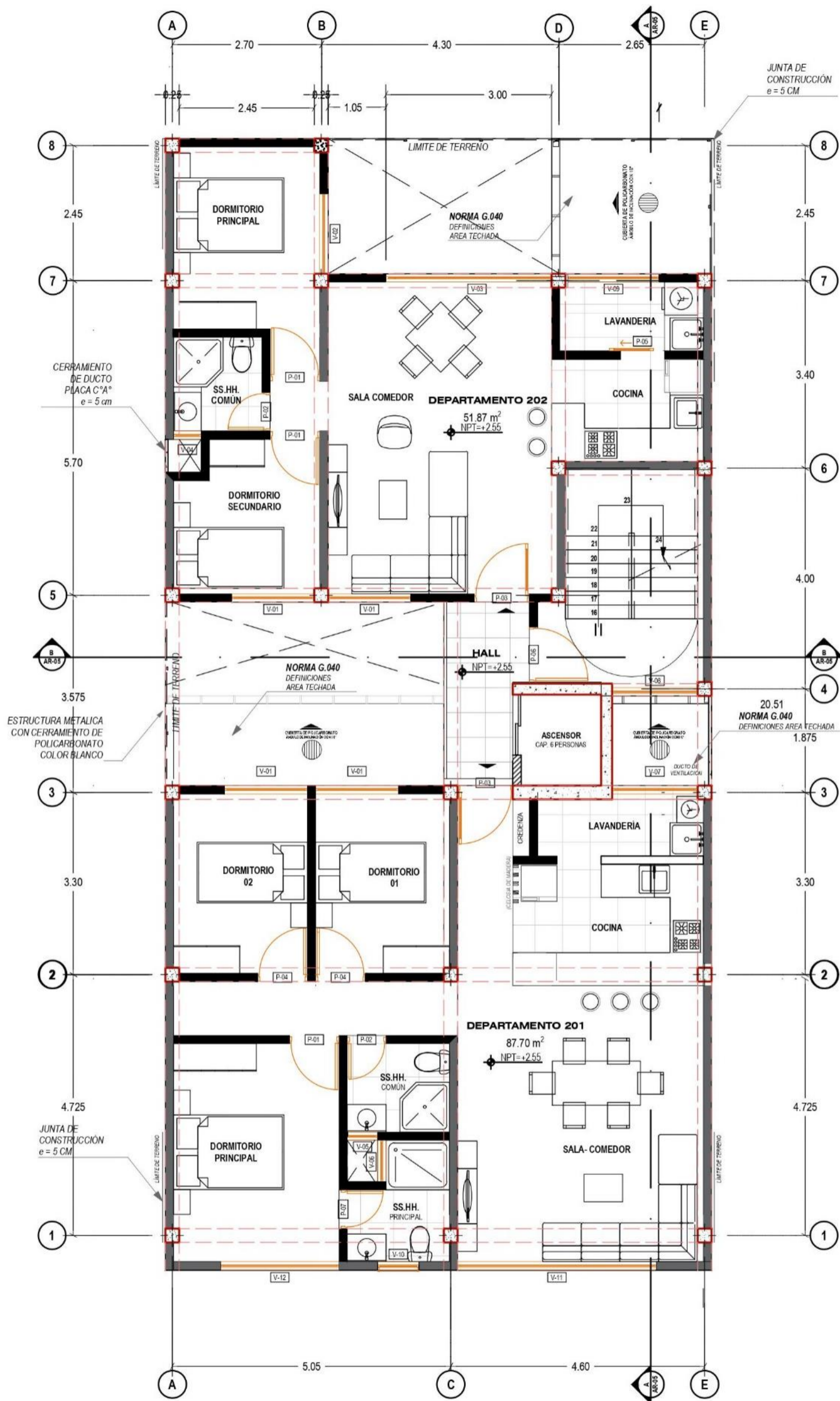




## 2. ANEXO 2 - Residencial Kala: Planos arquitectónicos

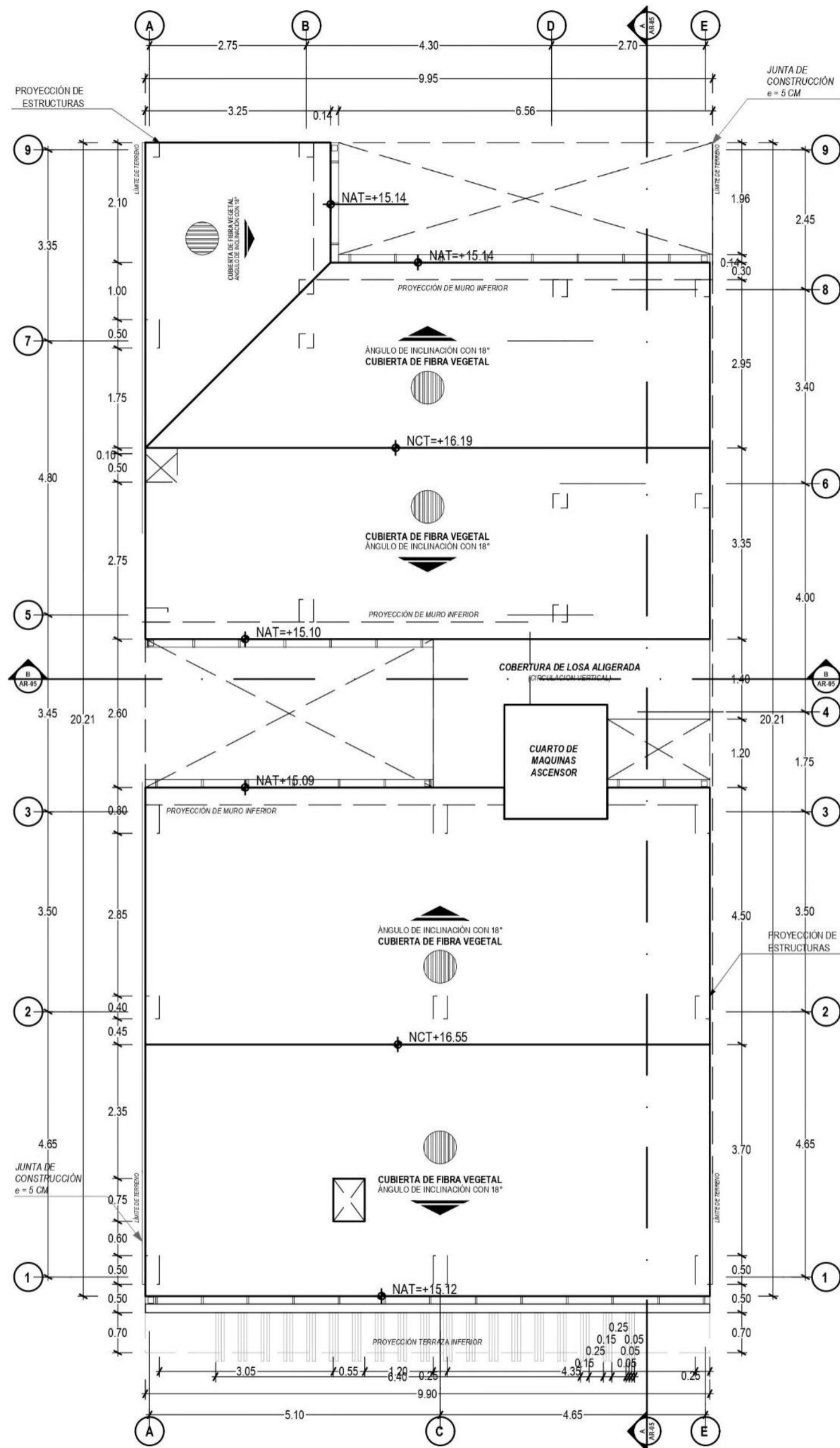


# PRIMER NIVEL

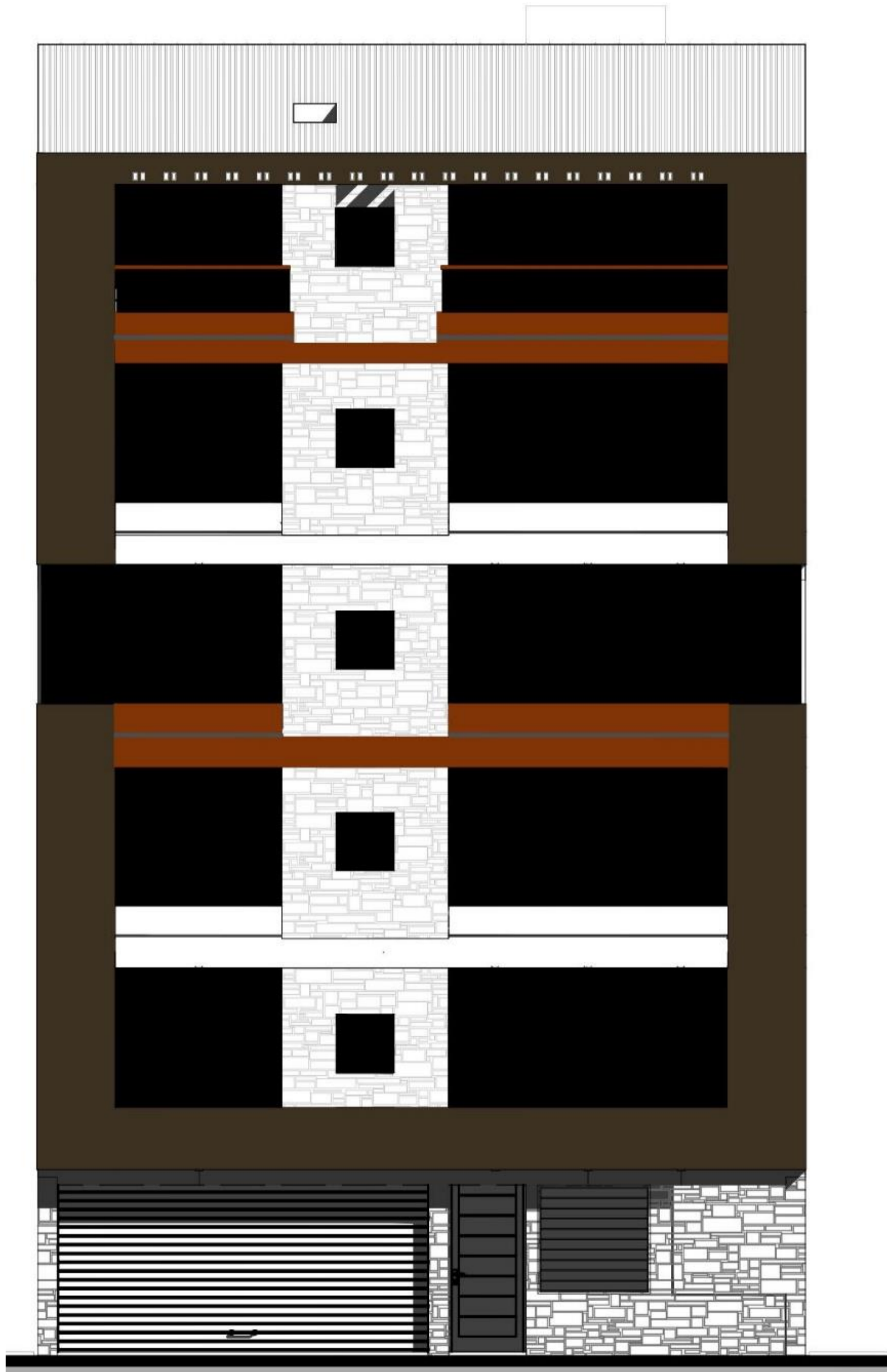


# PLANTA TIPICA 2do-7mo NIVEL





# TECHOS



# ELEVACION



3. ANEXO 3 – Metrado de cargas y pre-dimensionamiento de vigas (completo)

Table with columns for 'Metrado de cargas en vigas' and 'Pre-dimensionamiento de vigas'. Rows include structural details like 'Viga (localización)', 'Altura de entrepiso (m)', 'Distancia entre ejes (m)', and various load parameters.



#### 4. ANEXO 4 – Metrado de cargas en losas (completo)

Metrado de cargas en losas																					
Losa	Distancia entre ejes 1 (m)	Distancia entre ejes 2 (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Carga de aligerado (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga de piso terminado (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga de cielo raso yeso (kgf/m <sup>2</sup> )	Longitud de tabiquería (m)	Carga de tabiquería (kgf/m)	Carga de tabiquería (kgf/m <sup>2</sup> )	Longitud de alfeizer (m)	Carga de alfeizer (kgf/m)	Carga de alfeizer (kgf/m <sup>2</sup> )	Longitud de puerta (m)	Carga de puerta (kgf/m)	Carga de puerta (kgf/m <sup>2</sup> )	Longitud de ventana (m)	Carga de ventana (kgf/m)	Carga de ventana (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga de cobertura (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga muerta (kgf/m <sup>2</sup> )	Carga viva (kgf/m <sup>2</sup> )
2ª → 7ª: 1- 1' / A - C	0.625	5.050	3.156	1.5	100.0	25.0	0.350	645.310	71.559	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	198	200
2ª → 7ª: 1- 1' / C - E	0.625	4.600	2.875	1.5	100.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	127	200
2ª → 7ª: 1- 2 / A - C	4.725	5.050	23.861	1.5	100.0	25.0	7.850	645.310	212.297	1.300	480.550	26.181	2.300	88.125	8.494	1.300	9.000	0.490	0.000	374	200
2ª → 7ª: 1- 2 / C - E	4.725	4.600	21.735	1.5	100.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	127	200
2ª → 7ª: 2- 3 / A - C	3.300	5.050	16.665	1.5	100.0	25.0	3.150	645.310	121.976	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	248	200
2ª → 7ª: 2- 3 / C - E	3.300	4.600	15.180	1.5	100.0	25.0	1.825	645.310	77.582	1.850	411.900	50.199	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	254	200
2ª → 7ª: 3- 5 / C - E	3.575	4.600	8.803	0	100.0	25.0	0.475	645.310	34.820	0.000	0.000	0.000	1.000	88.125	10.011	0.000	0.000	0.000	0.000	170	200
2ª → 7ª: 5- 7 / A - B	5.700	2.700	15.390	1.5	100.0	25.0	5.150	645.310	215.942	0.500	480.550	15.612	1.600	88.125	9.162	0.500	9.000	0.292	0.000	368	200
2ª → 7ª: 5- 7 / B - D	5.700	4.300	24.510	1.5	100.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	127	200
2ª → 7ª: 6- 7 / D - E	3.400	2.650	9.010	1.5	100.0	25.0	1.700	645.310	121.757	0.000	0.000	0.000	0.800	88.125	7.825	0.000	0.000	0.000	0.000	256	200
2ª → 7ª: 7- 8 / A - B	2.450	2.700	6.615	1.5	100.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	127	200
8ª: 1- 1' / A - C	0.625	5.050	3.156	0	0.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	75	100
8ª: 1- 1' / C - E	0.625	4.600	2.875	0	0.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	75	100
8ª: 1- 2 / A - C	4.725	5.050	23.861	0	0.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	75	100
8ª: 1- 2 / C - E	4.725	4.600	21.735	0	0.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	75	100
8ª: 2- 3 / A - C	3.300	5.050	16.665	0	0.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	75	100
8ª: 2- 3 / C - E	3.300	4.600	15.180	0	0.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	75	100
8ª: 3- 5 / C - E	3.575	4.600	8.803	0	100.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	125	100
8ª: 5- 7 / A - B	5.700	2.700	15.390	0	0.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	75	100
8ª: 5- 7 / B - D	5.700	4.300	24.510	0	0.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	75	100
8ª: 6- 7 / D - E	3.400	2.650	9.010	0	0.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	75	100
8ª: 7- 8 / A - B	2.450	2.700	6.615	0	0.0	25.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	50.000	75	100