UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

MODELO COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS MATRICIAL DE EDIFICACIONES APORTICADAS Y RETICULARES EN VIVIENDAS DE UCAYALI

Tesis para optar el título profesional de

INGENIERO CIVIL

FRANCO EDUARDO NAPUCHE CELIS

ENRIQUE MANUEL ORDOÑEZ POQUIOMA

Pucallpa, Perú

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA DE SISTEMAS
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS

ACTA DE EVALUACION DE SUSTENTACION DE TESIS N° 017-2026

GRADUANDO : **Bach. NAPUCHE CELIS FRANCO EDUARDO**
Bach. ORDOÑEZ POQUIOMA ENRIQUE MANUEL

TEMA : **"MODELO COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS MATRICIAL DE EDIFICACIONES APORTICADAS Y RETICULARES EN VIVIENDAS DE UCAYALI".**

ASESOR : **Dr. DONAYRE HERNANDEZ DEVYN OMAR**

CRITERIOS	PUNTAJE			
	3	2	1	0
I- PRESENTACION				
* MOTIVACION		X		
* TONO DE VOZ		X		
* CALIDAD DE MATERIAL AUDIOVISUAL	X			
II- DESARROLLO DE CONTENIDO				
* SECUENCIA		X		
* DOMINIO DE VOZ		X		
* USO ADECUADO DEL MATERIAL		X		
* VALIDEZ DE LOS HALLAZGOS		X		
III- ABSOLUCION DE PREGUNTAS				
* RESPONDE A LAS PREGUNTAS FORMULADAS POR EL JURADO		X		
IV- APORTE CIENTIFICO Y TECNOLOGICO				
* AL DESARROLLO DE LA COMUNIDAD	X			
* A LA PROFESION	X			

EVALUACION

- o EXCELENCIA 26 A 30 PUNTOS
- o UNANIMIDAD 21 A 25 PUNTOS
- o MAYORIA 16 A 20 PUNTOS
- o DESAPROBADO 15 A MENOS

CALIFICACION FINAL :
PUNTAJE : 23 / 30
CONCLUSIONES :
APROBADO POR : UNANIMIDAD
DESAPROBADO POR :

JURADO EVALUADOR

Dr. SORIANO ALAVA, HORACIO
PRESIDENTE

Dr. ROMAN CLAROS, WALTER GILBERTO
PRIMER MIEMBRO

Dr. GONZALEZ MANRIQUE DE LARA, DAVID ABEL
SEGUNDO MIEMBRO

Dra. RIOS HIDALGO DE CERNA, CLOTILDE
SECRETARIA ACADEMICA

PUCALLPA, 27 DE ABRIL DEL 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

COMISIÓN DE GRADOS Y TITULOS

TESIS TITULADA:

"MODELO COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS MATRICIAL DE EDIFICACIONES APORTICADAS Y RETICULARES EN VIVIENDAS DE UCAYALI"

ELABORADO POR:

Bach. NAPUCHE CELIS, Franco Eduardo
Bach. ORDOÑEZ POQUIOMA, Enrique Manuel

APROBADO POR:

Dr. HORACIO SORIANO ALAVA
Presidente

Dr. WALTER GILBERTO ROMAN CLAROS
Primer Miembro

Dr. DAVID ABEL GONZALEZ MANRIQUE DE LARA
Segundo Miembro

Dr. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TESIS

Nº **V/200-2026**.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que la Tesis titulada:

"**MODELO COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS MATRICIAL DE EDIFICACIONES APORTICADAS Y RETICULARES EN VIVIENDAS DE UCAYALI**"

Autor(es)	:	**NAPUCHE CELIS, FRANCO EDUARDO**
		ORDOÑEZ POQUIOMA, ENRIQUE MANUEL
Facultad	:	**INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL**
Escuela	:	**ING. CIVIL**
Asesor(a)	:	**Dr. DONAYRE HERNANDEZ, DEVYN OMAR**

Presenta un **porcentaje de similitud de 9%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica: "todo trabajo de investigación no debe superar el 10%". **En tal sentido, se declara, que la TESIS presenta un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 30/03/2026

Dr. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, FRANCO EDUARDO NAPUCHE CELIS

Autor de la tesis titulada : MODELO COMPUTACIONAL PARA EL ANÁLISIS MATRICIAL DE EDIFICACIONES APORTICADAS Y RETICULARES EN VIVIENDAS DE UCAYALI

Sustentada el año 2026

Asesor(a): DEVYN OMAR DONAYRE HERNÁNDEZ

Facultad: INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

Escuela Profesional: INGENIERIA CIVIL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 03 / 05 / 2026

Email: fenapcel@gmail.com Firma: 

Teléfono: 964727315 DNI: 45883275

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, ENRIQUE MANUEL ORDOÑEZ POQUIOMA

Autor de la tesis titulada : MODELO COMPUTACIONAL PARA EL ANALISIS MATRICIAL DE EDIFICACIONES APORTICADAS Y RETICULARES EN VIVIENDAS DE UCAYALI

Sustentada el año 2026

Asesor(a): DEVYN OMAR DONAYRE HERNÁNDEZ

Facultad: INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

Escuela Profesional: INGENIERIA CIVIL

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 03 / 05 / 2026

Email: enmaorpo@gmail.com Firma: 

Teléfono: 900740749 DNI: 70249703

DEDICATORIA

A Dios, por bendecir mi camino, darme fortaleza en los momentos difíciles y permitirme culminar esta etapa tan importante de mi vida profesional.

A mi madre Peggy y a mi esposa Fiorella, por su amor, comprensión y apoyo incondicional durante cada etapa de este esfuerzo.

A mi hija Azul Avril, por ser mi mayor inspiración y la razón más hermosa que me impulsa a seguir superándome cada día.

Franco Eduardo

A Dios, por darme vida, salud y fortaleza para seguir adelante en cada etapa de mi formación profesional, y por permitirme alcanzar esta meta tan importante.

A mi familia, por su amor, apoyo y confianza incondicional.

Enrique Manuel

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro agradecimiento al Ing. Devyn Donayre, asesor de la presente investigación, por la orientación brindada, el seguimiento permanente y las observaciones efectuadas durante el desarrollo de este trabajo.

Asimismo, valoramos su disposición para atender nuestras consultas con responsabilidad y compromiso, incluso en jornadas de alta exigencia, contribuyendo de manera significativa a la culminación de la investigación.

Agradecemos también a nuestras familias, por la comprensión, el respaldo y la paciencia demostrados a lo largo de este proceso, los cuales fueron fundamentales para mantenernos firmes en el cumplimiento de esta meta.

De igual manera, expresamos nuestro reconocimiento a la Universidad Nacional de Ucayali y a los docentes de la Escuela Profesional, por los conocimientos compartidos y por contribuir de manera significativa a nuestra formación académica y profesional.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo desarrollar un modelo computacional para el análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas en Ucayali, orientado a integrar el ingreso mínimo de datos, la asignación automática de parámetros sísmicos según ubicación y la obtención de resultados estructurales técnicamente interpretables. El estudio se enmarcó en una investigación aplicada, de nivel descriptivo y diseño no experimental, centrada en el desarrollo, prueba funcional y validación técnica de una herramienta computacional para el análisis sísmico-estructural. El modelo desarrollado permite parametrizar la geometría estructural mediante la variación de tramos, alturas y disposición de elementos resistentes, procesando como datos principales la geometría del sistema, las dimensiones iniciales de vigas, columnas y losas, y la resistencia del concreto. A partir de ello, el sistema ejecuta el análisis estructural y genera resultados como desplazamientos, derivas, cortantes, reacciones y esfuerzos internos envolventes, además de una memoria de cálculo y un visor gráfico para la revisión técnica del comportamiento estructural, incorporando también alertas previas sobre el estado del análisis sísmico antes de la exportación del reporte final. Durante la etapa final de verificación funcional del sistema se sistematizaron 12 configuraciones estructurales representativas compatibles con el alcance del software; adicionalmente, la validación comparativa formal documentada en la tesis se efectuó sobre una configuración estructural representativa, a partir de la cual se contrastaron 36 pares equivalentes de resultados entre UNU STRUCT y SAP2000 en los planos XZ y YZ, evidenciándose una alta concordancia entre ambas plataformas. De manera complementaria, el sistema alcanzó una implementación operativa mediante archivo ejecutable e instalador funcional, e incorporó la

exportación del modelo en formato IFC, ampliando su potencial de interoperabilidad y su proyección para futuras investigaciones.

Palabras clave: modelo computacional, análisis matricial, análisis sísmico, SAP2000, interoperabilidad IFC.

ABSTRACT

The objective of this research was to develop a computational model for the matrix analysis of framed and reticular buildings applicable to housing in Ucayali, aimed at integrating minimal data input, the automatic assignment of seismic parameters according to location, and the generation of technically interpretable structural results. The study was framed as applied research, descriptive in scope, and non-experimental in design, focusing on the development, functional testing, and technical validation of a computational tool for seismic and structural analysis. The developed model allows the parameterization of structural geometry through the variation of spans, story heights, and the arrangement of resistant elements, processing as main input data the system geometry, the initial dimensions of beams, columns, and slabs, and the concrete compressive strength. Based on this information, the system performs the structural analysis and generates results such as displacements, story drifts, base shear, reactions, and envelope internal forces, in addition to a calculation report and a graphical viewer for technical review of structural behavior, while also incorporating preliminary alerts regarding the seismic analysis status before exporting the final report. During the final stage of functional verification of the system, 12 representative structural configurations compatible with the software scope were systematized; additionally, the formal comparative validation documented in the thesis was carried out on one representative structural configuration, from which 36 equivalent pairs of results between UNU STRUCT and SAP2000 were contrasted in the XZ and YZ planes, showing high agreement between both platforms. In addition, the system reached an operational implementation stage through an executable file and a functional installer, and it also incorporated model export in IFC format, extending its interoperability potential and its projection for future research.

Keywords: computational model, matrix analysis, seismic analysis, SAP2000, IFC interoperability.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA ..... **vii**

AGRADECIMIENTO ..... **viii**

RESUMEN ..... **ix**

ABSTRACT ..... **xi**

ÍNDICE GENERAL ..... **xiii**

ÍNDICE DE TABLAS ..... **xvi**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **xvii**

INTRODUCCIÓN ..... **xviii**

CAPITULO I **20**

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA **20**

1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA 20

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 22

1.2.1. Problema General 22

1.2.2. Problemas Específicos 22

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 23

1.3.1. Objetivo general 23

1.3.2. Objetivos específicos 23

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 23

1.4.1. Justificación 23

1.4.2. Importancia 24

1.5. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA SOBRE LA NO FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS 25

1.6. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN 26

1.6.1. Delimitación espacial 26

1.6.2. Delimitación social 27
1.6.3. Delimitación temporal 27
1.6.4. Delimitación conceptual 27
1.7. VARIABLES 28
1.7.1. Definición conceptual 28
1.7.2. Definición operacional 29
CAPÍTULO II 33
MARCO TEÓRICO 33
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 33
2.1.1. Antecedentes internacionales 33
2.1.2. Antecedentes nacionales 36
2.1.3. Antecedentes locales 39
2.2. BASES TEÓRICAS 41
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS 49
CAPÍTULO III 57
METODOLOGÍA 57
3.1. METODO DE INVESTIGACIÓN 57
3.1.1. Tipo de investigación 57
3.1.2. Nivel de investigación 58
3.1.3. Diseño de investigación 58
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA 59
3.2.1. Población 59
3.2.2. Muestra 60
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS 62
3.3.1. Técnicas 62

3.3.2. Instrumentos 63
3.4. TRATAMIENTO DE DATOS 63
CAPÍTULO IV 66
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS 66
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS 66
4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 78
CONCLUSIONES 87
RECOMENDACIONES 89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 91
ANEXOS 96
Anexo 1. Matriz de consistencia 97
Anexo 2. Pseudocódigo general del modelo computacional 98
Anexo 3. Manual de usuario de UNU STRUCT v.01 105
Anexo 4. Memoria de cálculo de la configuración representativa 111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables, dimensiones e indicadores.....30

Tabla 2. Resumen de configuraciones evaluadas y validación comparativa 69

Tabla 3. Configuración estructural representativa empleada para la validación comparativa formal del sistema.....69

Tabla 4. Distribución de los pares comparados entre UNU STRUCT y SAP2000.....70

Tabla 5. Resumen de variaciones promedio por plano en la validación comparativa.....70

Tabla 6. Evidencias de implementación operativa e interoperabilidad del sistema desarrollado 76

Tabla 7. Resumen de funcionalidades implementadas en UNU STRUCT v.01 77

Tabla 8. Comparación crítica entre UNU STRUCT v.01 y antecedentes afines.....86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interfaz principal de UNU STRUCT v.01 con ingreso de datos y ejecución del análisis 66

Figura 2. Representación tridimensional del modelo estructural generado por el sistema.....67

Figura 3. Ejecución SAP2000 para verificación visual inmediata con notificación del porcentaje de variación entre ambos modelos 71

Figura 4. Comparación visual entre UNU STRUCT y SAP2000 en la revisión de resultados estructurarles 71

Figura 5. Comparación de resultados entre UNU STRUCT y SAP2000 72

Figura 6. Comparación detallada de diagramas y esfuerzos entre UNU STRUCT y SAP2000 73

Figura 7. Estructura modular del proyecto, archivos del sistema e instalador funcional de UNU STRUCT v.01.....74

Figura 8. Visualización del modelo IFC en entorno compatible BIM.....75

Figura 9. Exportación del modelo estructural en formato IFC desde UNU STRUCT.....75

INTRODUCCIÓN

El análisis estructural constituye una fase esencial en el diseño de edificaciones, debido a que permite estimar la respuesta de los elementos resistentes frente a cargas gravitacionales y acciones laterales, particularmente en zonas con amenaza sísmica. En el caso de las viviendas, esta evaluación resulta determinante porque de ella dependen la seguridad, la estabilidad, el control de deformaciones y la adecuada distribución de esfuerzos dentro del sistema estructural. Por ello, contar con procedimientos de cálculo confiables y técnicamente sustentados representa una necesidad permanente en la práctica de la ingeniería civil.

En los últimos años, las herramientas computacionales han adquirido mayor relevancia dentro del análisis de estructuras, ya que facilitan el procesamiento de información geométrica, mecánica y normativa dentro de un mismo entorno de trabajo. Sin embargo, en el ámbito académico y en contextos regionales como Ucayali, aún resulta necesario fortalecer el desarrollo de aplicaciones que, además de procesar información estructural, permitan organizar el modelado, sistematizar la evaluación y favorecer una interpretación técnica más clara del comportamiento resistente de edificaciones destinadas a vivienda.

Dentro de este escenario, una dificultad frecuente radica en que parte del flujo de análisis suele desarrollarse mediante procedimientos fragmentados, donde el ingreso de datos, la definición de parámetros sísmicos, la evaluación estructural y la revisión de resultados no siempre se integran de manera continua. Esta situación puede dificultar la trazabilidad del procedimiento, incrementar la dependencia del ingreso manual de información y volver menos eficiente la revisión técnica del modelo estructural.

Frente a esa necesidad, la presente investigación plantea el desarrollo de un modelo computacional para el análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas en Ucayali. La propuesta se orienta a integrar el ingreso mínimo de datos, la parametrización geométrica del sistema resistente, la asignación automática de parámetros sísmicos según ubicación y la obtención de resultados estructurales técnicamente interpretables dentro de un entorno computacional único.

Bajo este enfoque, la investigación se enmarca en una perspectiva aplicada, orientada al desarrollo de una herramienta computacional que contribuya al tratamiento estructural de configuraciones razonables de vivienda mediante procedimientos matriciales. En ese sentido, el estudio busca aportar una alternativa técnica que articule programación, análisis estructural y sistematización del proceso de evaluación dentro del contexto de la ingeniería civil.

El presente informe se organiza de acuerdo con la estructura institucional establecida para el informe final de tesis. En el Capítulo I se desarrolla el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación y las variables del estudio. En el Capítulo II se presentan los antecedentes, las bases teóricas y los términos básicos. En el Capítulo III se expone la metodología empleada. En el Capítulo IV se presentan y discuten los resultados obtenidos. Finalmente, se incluyen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En el contexto mundial, el análisis estructural de edificaciones ha evolucionado de manera significativa con el desarrollo de métodos computacionales capaces de integrar simulación, procesamiento numérico, optimización y automatización dentro de entornos cada vez más especializados. Esta tendencia ha permitido mejorar la capacidad de modelar y evaluar sistemas estructurales con mayor precisión y rapidez; sin embargo, también ha evidenciado la necesidad de contar con herramientas que, además de resolver el problema numérico, faciliten el flujo integral de trabajo, reduzcan la complejidad operativa y permitan una interpretación técnica más accesible para el usuario final (Krzywanski et al., 2024; Plevris et al., 2025).

En Latinoamérica y el Caribe, esta necesidad adquiere una relevancia particular debido a que la región presenta una alta exposición al riesgo de desastres y una marcada concentración urbana. El Informe Regional de Evaluación del Riesgo de Desastres para América Latina y el Caribe señala que más del 80 % de la población regional vive en ciudades y que los procesos de desigualdad, exclusión e informalidad continúan actuando como factores que incrementan la construcción del riesgo. Asimismo, el mismo informe advierte que muchas de las respuestas institucionales todavía se desarrollan como reacciones específicas ante desastres ya ocurridos, más que mediante estrategias integradas y preventivas, lo que refuerza la necesidad de fortalecer herramientas técnicas

para la evaluación del entorno construido (United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNDRR], 2021).

En el Perú, y particularmente en Ucayali, esta problemática se expresa en la necesidad de evaluar edificaciones de vivienda con criterios estructurales más sistemáticos y menos dependientes de procedimientos fragmentados. En el ámbito local, ya se han reportado investigaciones orientadas a la vulnerabilidad sísmica de viviendas en el distrito de Callería, así como estudios de evaluación estructural en edificaciones de la Universidad Nacional de Ucayali, lo que confirma que la revisión del desempeño resistente de las estructuras constituye una preocupación técnica vigente en la región (Gonzales Bocanegra & Gutierrez Vasquez, 2024; Rodriguez Rios et al., 2024).

A pesar de ello, en la práctica académica y preprofesional todavía es frecuente que el proceso de análisis estructural se desarrolle mediante secuencias de trabajo poco integradas, en las que el ingreso de datos, la definición de parámetros sísmicos, la ejecución del modelo y la revisión de resultados se realizan en etapas separadas. Esta forma de trabajo puede incrementar el tiempo de procesamiento, aumentar la probabilidad de errores por transcripción manual y dificultar la trazabilidad técnica del procedimiento, especialmente cuando se busca replantear oportunamente la configuración geométrica o verificar el comportamiento estructural antes de emitir una memoria de cálculo. Esta necesidad de simplificación y mejor integración del flujo de análisis también es coherente con la orientación actual de las herramientas computacionales aplicadas a la ingeniería estructural (Krzywanski et al., 2024; Plevris et al., 2025).

En ese marco, el problema que da origen a la presente investigación se relaciona con la ausencia de una herramienta computacional integrada, aplicada al análisis matricial

de edificaciones aporticadas y reticulares en viviendas de Ucayali, que permita articular dentro de un mismo entorno el ingreso básico de información, la parametrización geométrica, el procesamiento sísmico inicial y la evaluación estructural con resultados técnicamente interpretables. Esta carencia limita la continuidad del flujo de análisis, debilita la trazabilidad del procedimiento y reduce la consistencia técnica de la evaluación estructural en el contexto regional de Ucayali.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema General

- ¿Cómo desarrollar un modelo computacional para el análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares en viviendas de Ucayali?

1.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo parametrizar geométricamente edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas en Ucayali?
- ¿Cómo automatizar la asignación de parámetros sísmicos según la ubicación seleccionada?
- ¿Cómo ejecutar el análisis matricial y obtener resultados estructurales técnicamente interpretables en edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas?
- ¿Cómo validar comparativamente los resultados del modelo computacional con SAP2000?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- Desarrollar un modelo computacional para el análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares en viviendas de Ucayali.

1.3.2. Objetivos específicos

- Parametrizar geométricamente edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas en Ucayali.
- Automatizar la asignación de parámetros sísmicos según la ubicación seleccionada.
- Ejecutar el análisis matricial y obtener resultados estructurales técnicamente interpretables en edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas.
- Validar comparativamente los resultados del modelo computacional con SAP2000.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.4.1. Justificación

- Desde el punto de vista **práctico y técnico**, la presente investigación se justifica por la necesidad de contar con una herramienta computacional que permita desarrollar el análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares de manera ordenada, automatizada y técnicamente interpretable. Su planteamiento responde a la conveniencia de disponer de un sistema que facilite el tratamiento estructural de configuraciones geométricas variables aplicables a viviendas,

reduciendo la dependencia de procedimientos fragmentados y del ingreso excesivo de datos manuales.

- Desde la perspectiva **metodológica**, el modelo propuesto ha sido concebido para concentrar la información de entrada en aspectos esenciales como la geometría estructural, las dimensiones iniciales de los elementos y la resistencia del concreto. A partir de ello, el sistema procesa automáticamente los parámetros sísmicos según la ubicación seleccionada, ejecuta el análisis estructural y se proyecta para facilitar la compatibilización de resultados con SAP2000 mediante comparación numérica y revisión visual, lo que fortalece la consistencia del procedimiento desarrollado.
- En el ámbito **académico y tecnológico**, la investigación se justifica porque la propuesta se orienta a integrar alertas previas, memoria técnica, visor de resultados y mecanismos de comparación técnica, con el fin de fortalecer la trazabilidad del procedimiento. De manera complementaria, la investigación contempla una proyección de implementación operativa mediante versión ejecutable e instalador funcional, como parte de su valor aplicado, lo que evidencia que la propuesta trasciende el entorno de programación y se materializa en una herramienta aplicable.

1.4.2. Importancia

- La importancia de la presente investigación radica en que integra, dentro de un mismo entorno computacional, la modelación geométrica, el análisis sísmico-estructural, la validación comparativa y la obtención de resultados técnicos aplicables a edificaciones de vivienda. Esta integración favorece una lectura

más continua entre los datos de entrada, el procesamiento estructural y los resultados finales, mejorando la comprensión del comportamiento resistente del sistema analizado.

- En el plano académico, su importancia se relaciona con el aporte de una herramienta que articula conocimientos de programación, análisis estructural y verificación técnica con software especializado, contribuyendo al fortalecimiento de enfoques interdisciplinarios en la formación profesional. Además, facilita la revisión simultánea de resultados numéricos y gráficos, lo que mejora la interpretación técnica del análisis desarrollado.
- En el ámbito aplicado, la investigación adquiere importancia porque propone una solución orientada a automatizar el análisis estructural y a facilitar su posterior validación técnica frente a SAP2000, reforzando la confiabilidad del sistema desarrollado. De manera adicional, la posibilidad de contar con una versión ejecutable con instalador funcional incrementa la proyección aplicada de la herramienta propuesta.

1.5. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA SOBRE LA NO FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

En la presente investigación no se formulan hipótesis de trabajo, debido a que el estudio corresponde a una investigación aplicada, de nivel descriptivo y diseño no experimental, orientada al desarrollo, descripción y validación técnica de un modelo computacional para el análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas en Ucayali. En este sentido, el propósito del estudio no es contrastar relaciones causales entre variables ni someter proposiciones a prueba estadística

inferencial, sino desarrollar una herramienta computacional, describir su funcionamiento y evaluar técnicamente sus resultados mediante comparación numérica y revisión visual con SAP2000. Esta decisión metodológica es coherente con lo señalado por Hernández-Sampieri y Mendoza (2018), quienes indican que no todas las investigaciones cuantitativas requieren hipótesis y que, en el caso de los estudios descriptivos, estas se formulan principalmente cuando se busca pronosticar un valor o hecho específico. Dado que la presente tesis no se orienta a predecir valores determinados ni a comprobar asociaciones o relaciones causales, sino al logro técnico de objetivos de desarrollo y validación funcional, la estructura del estudio se sustenta en la formulación del problema, los objetivos de investigación, la definición de variables, el procedimiento metodológico y el análisis de resultados.

Por ello, las conclusiones de la investigación se establecen en función del grado de cumplimiento del objetivo general y de los objetivos específicos, y no en términos de aceptación o rechazo de hipótesis.

1.6. DELIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Delimitación espacial

La presente investigación se delimita espacialmente al departamento de Ucayali, debido a que el modelo computacional ha sido desarrollado para el análisis de edificaciones de vivienda considerando la selección de provincias y distritos de dicha jurisdicción. En función de esta ubicación, el sistema incorpora automáticamente los parámetros sísmicos aplicables, por lo que el alcance territorial del estudio se circunscribe al contexto geográfico de Ucayali.

1.6.2. Delimitación social

La investigación se delimita socialmente al ámbito académico y técnico vinculado a la ingeniería civil, específicamente a estudiantes, tesistas y profesionales interesados en el análisis estructural de edificaciones de vivienda. En ese sentido, el modelo computacional ha sido concebido como una herramienta de apoyo para la evaluación estructural y la comprensión del comportamiento de sistemas aporticados y reticulares dentro de configuraciones razonables de uso residencial.

1.6.3. Delimitación temporal

La presente investigación se delimita temporalmente al periodo de desarrollo, implementación y evaluación del modelo computacional durante el año 2025 y su consolidación en el informe final de tesis en 2026. Por tanto, los criterios, parámetros y alcances considerados corresponden al marco técnico y al estado de desarrollo del sistema alcanzado en dicho periodo.

1.6.4. Delimitación conceptual

Conceptualmente, la investigación se delimita al desarrollo de un modelo computacional orientado al análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas. El estudio comprende la parametrización geométrica de la estructura, el ingreso mínimo de datos, la asignación automática de parámetros sísmicos según ubicación en Ucayali, el análisis sísmico y estructural, la emisión de alertas previas de cumplimiento y la generación de resultados como desplazamientos, derivas, cortantes, reacciones y esfuerzos internos envolventes. No forma parte del alcance el diseño estructural detallado

de todos los elementos, la revisión de especialidades distintas a estructuras ni la generalización del sistema para edificaciones de uso diferente al de vivienda.

1.7. VARIABLES

Para la presente investigación se han considerado las siguientes variables:

- **Variable independiente:** Modelo computacional.
- **Variable dependiente:** Análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares en viviendas de Ucayali.

1.7.1. Definición conceptual

Variable independiente: Modelo computacional

Conceptualmente, un modelo computacional puede entenderse como una representación basada en modelos matemáticos, algoritmos y herramientas computacionales, empleada para simular, analizar y predecir el comportamiento de sistemas complejos. En la presente investigación, esta variable se asume como el sistema informático desarrollado para parametrizar la geometría estructural, procesar automáticamente información sísmica, ejecutar el análisis estructural y permitir la validación comparativa de resultados (Krzywanski et al., 2024).

Variable dependiente: Análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares en viviendas de Ucayali

Conceptualmente, el análisis matricial de estructuras corresponde a la formulación del análisis estructural de elementos lineales mediante matrices de rigidez y ecuaciones asociadas, con el propósito de determinar desplazamientos, reacciones y fuerzas internas. En esta investigación, dicha variable se refiere al análisis estructural de configuraciones aporticadas y reticulares aplicables a

viviendas, a partir del cual se obtienen respuestas como desplazamientos, derivas, cortantes, reacciones y esfuerzos internos envolventes (Plevris & Ahmad, 2025).

1.7.2. Definición operacional

Variable independiente: Modelo computacional

La variable independiente se operacionaliza mediante las funcionalidades implementadas en el sistema desarrollado, tales como la parametrización de la geometría estructural, el ingreso básico de datos, la asignación automática de parámetros sísmicos según ubicación, la ejecución del análisis sísmico-estructural, la emisión de alertas previas a la generación de la memoria de cálculo y la validación comparativa de resultados con SAP2000 mediante hoja de cálculo en Excel.

Variable dependiente: Análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares en viviendas de Ucayali

La variable dependiente se operacionaliza a través de los resultados que produce el procesamiento estructural del modelo computacional, expresados en desplazamientos, derivas, cortantes, reacciones y esfuerzos internos envolventes, los cuales permiten interpretar el comportamiento estructural de las configuraciones analizadas.

Tabla 1. Operacionalización de variables, dimensiones e indicadores

Variable	Dimensión	Indicador	Definición operacional	Unidad	Escala	Tipo de verificación	Método de verificación	Instrumento / Fuente de datos
VI: Modelo computacional	Parametrización geométrica	Tramos en X, Y, Z	Longitudes ingresadas para generar la geometría estructural del modelo.	m	Continua	Interna	Revisión del ingreso de datos y contraste con la geometría 3D generada	Interfaz del software y modelo 3D
	Parametrización geométrica	Secciones iniciales de vigas, columnas y losa	Dimensiones preliminares ingresadas para el análisis estructural.	m	Continua	Interna	Revisión del ingreso de secciones y contraste con el modelo generado y la memoria de cálculo	Interfaz del software, modelo 3D y memoria
	Propiedades mecánicas	Resistencia del concreto	Valor de f'c ingresado como propiedad mecánica del material.	kg/cm²	Continua	Interna	Verificación del valor ingresado y su correspondencia en la memoria técnica	Interfaz del software y memoria de cálculo
	Automatización sísmica	Ubicación del proyecto	Selección de provincia y distrito de Ucayali para activar la base sísmica interna.	---	Nominal politómica (provincia y distrito elegido)	Interna	Revisión de selección territorial en la interfaz	Interfaz del software
	Automatización sísmica	Asignación automática de parámetros sísmicos	Incorporación automática de parámetros sísmicos según ubicación, sin ingreso manual del usuario.	---	Nominal dicotómica (correcta / no corresponde)	Externa	Contraste entre la ubicación seleccionada y los parámetros asignados por el sistema	Base sísmica interna, revisión documental y juicio técnico del investigador
	Verificación previa	Estado del análisis sísmico	Resultado emitido por el sistema antes de exportar la memoria de cálculo.	---	Dicotómica (cumple / no cumple)	Mixta	Revisión del mensaje emitido y contraste con los resultados estructurales del modelo	Motor de validación, memoria de cálculo y revisión técnica
	Generación de salidas	Memoria de cálculo	Exportación automática del documento técnico con los resultados del análisis.	---	Nominal dicotómica (genera / no genera)	Interna	Verificación de exportación y apertura del archivo	Exportador del software

Variable	Dimensión	Indicador	Definición operacional	Unidad	Escala	Tipo de verificación	Método de verificación	Instrumento / Fuente de datos
	Generación de salidas	Visor de resultados	Presentación gráfica de esfuerzos y diagramas por elemento estructural.	---	Nominal dicotómica (disponible / no disponible)	Interna	Inspección gráfica directa del visor	Visor de resultados
	Validación comparativa	Apertura del modelo en SAP2000	Acceso directo al modelo equivalente para revisar y compatibilizar resultados.	—	Nominal dicotómica (abre / no abre)	Externa	Ejecución del enlace y comprobación de apertura del modelo equivalente	UNU STRUCT / SAP2000
	Validación comparativa	Hoja comparativa en Excel	Generación automática de una hoja con resultados de UNU STRUCT y SAP2000.	—	Nominal dicotómica (genera / no genera)	Externa	Verificación del archivo generado y revisión de contenido comparativo	Exportador comparativo y archivo Excel
	Validación comparativa	Variación porcentual de resultados	Diferencia porcentual obtenida al comparar resultados equivalentes entre ambas plataformas.	%	Continua	Externa	Comparación numérica de 36 pares equivalentes entre UNU STRUCT y SAP2000	Hoja comparativa en Excel y SAP2000
VD: Análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares en viviendas de Ucayali	Respuesta global	Desplazamiento máximo	Máximo desplazamiento obtenido en la estructura analizada.	m	Continua	Externa	Revisión del resultado y contraste con SAP2000	Memoria de cálculo, visor y SAP2000
	Respuesta global	Deriva por nivel	Deriva estructural obtenida por nivel en el análisis sísmico.	%	Continua	Externa	Revisión del resultado con base en la formulación matricial, la literatura técnica de referencia y la Norma E.030 vigente	Memoria de cálculo/visor, procedimiento matricial desarrollado y Norma E.030
	Respuesta global	Cortante basal	Fuerza cortante total obtenida en la base de la estructura.	tnf	Continua	Externa	Revisión del resultado con base en la formulación matricial, la literatura técnica de referencia y la Norma E.030 vigente	Memoria de cálculo, procedimiento matricial desarrollado y Norma E.030

Variable	Dimensión	Indicador	Definición operacional	Unidad	Escala	Tipo de verificación	Método de verificación	Instrumento / Fuente de datos
	Respuesta local	Reacciones de apoyo	Fuerzas de reacción obtenidas en los apoyos del modelo estructural.	tnf	Continua	Externa	Revisión del resultado y contraste con SAP2000	Visor de resultados y SAP2000
	Respuesta local	Axial envolvente	Valor máximo y mínimo de fuerza axial en los elementos estructurales.	tnf	Continua	Externa	Comparación de envolventes entre ambas plataformas	Memoria de cálculo, visor, SAP2000 y Excel comparativo
	Respuesta local	Corte envolvente	Valor máximo y mínimo de fuerza cortante en los elementos estructurales.	tnf	Continua	Externa	Comparación de envolventes entre ambas plataformas	Memoria de cálculo, visor, SAP2000 y Excel comparativo
	Respuesta local	Momento flector envolvente	Valor máximo y mínimo de momento flector en los elementos estructurales.	tnf·m	Continua	Externa	Comparación de envolventes entre ambas plataformas	Memoria de cálculo, visor, SAP2000 y Excel comparativo

Fuente: Elaboración propia

Con fines de control metodológico, los indicadores de la variable independiente fueron verificados mediante tres modalidades complementarias: verificación interna, referida a la comprobación operativa de funciones propias del sistema desarrollado; verificación externa, referida al contraste técnico de resultados, funcionalidades o correspondencias mediante SAP2000, la hoja comparativa en Excel, la literatura técnica de referencia, la Norma E.030 vigente y la revisión técnica del investigador; y verificación mixta, aplicada a aquellos indicadores cuya comprobación requirió combinar evidencias internas del sistema con contraste técnico externo. Esta distinción permitió reducir el riesgo de circularidad metodológica, evitando que el propio sistema actuara simultáneamente como única fuente generadora y único criterio de validación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Izhar et al. (2024), en la investigación titulada “StrucPy.RCFA—Object-Oriented Python Package for Structural Analysis of Reinforced Concrete Frames”, tuvieron como objetivo desarrollar un paquete orientado a objetos en Python para el análisis estructural de miembros y pórticos de concreto armado en dos y tres dimensiones. La metodología utilizada se basó en el desarrollo de una herramienta computacional abierta con capacidades de autogeneración de marcos y pisos, simplificación del ingreso de datos y visualización del comportamiento estructural, complementada con pruebas de funcionamiento y comparación frente a software de referencia. Entre los resultados, los autores reportaron una alta coincidencia en sus pruebas de benchmark y una mejora en la accesibilidad del análisis estructural para usuarios con experiencia limitada en programación. Concluyeron que la herramienta fortalece el aprendizaje técnico y amplía el acceso al análisis estructural sin depender exclusivamente de software comercial. Este antecedente resulta pertinente para la presente investigación porque demuestra la factibilidad de desarrollar soluciones computacionales abiertas y parametrizables aplicadas al análisis estructural de sistemas de concreto armado.

Arroyo et al. (2025), en el estudio titulado “StructPyn: A Browser-Based Pushover Analysis Tool for Reinforced Concrete Frames”, tuvieron como objetivo desarrollar una herramienta web basada en OpenSeesPy para simplificar el análisis

pushover de pórticos de concreto armado. La metodología consistió en la implementación de una interfaz accesible para el usuario, orientada a obtener curvas de capacidad sin exigir dominio directo del modelado no lineal ni de programación especializada. Entre los resultados, los autores señalaron que la herramienta agiliza el flujo de trabajo y favorece una interacción más directa entre el usuario y el proceso de análisis. Concluyeron que la simplificación de la interfaz mejora la accesibilidad del análisis no lineal para fines académicos y técnicos. Este antecedente se vincula con la presente tesis porque evidencia la importancia de desarrollar herramientas que no solo generen resultados estructurales, sino que también reduzcan la complejidad operativa del proceso.

Rossi y Winands (2025), en la investigación titulada "Automating the Static and Seismic Design of 2-D Multistorey Reinforced Concrete Structures by Using Monte Carlo Tree Search and Genetic Algorithm", tuvieron como objetivo automatizar el diseño estático y sísmico de estructuras aporticadas de concreto armado de varios niveles en dos dimensiones. La metodología empleada consistió en formular el diseño estructural como un problema de búsqueda inteligente mediante Monte Carlo Tree Search y algoritmos genéticos, evaluando distintas alternativas estructurales dentro de un entorno computacional automatizado. Entre los resultados, se evidenció que este enfoque permitió resolver tareas tradicionalmente asociadas al juicio del ingeniero estructural y reducir significativamente el tiempo de procesamiento respecto a métodos tradicionales. Los autores concluyeron que la automatización inteligente representa una vía viable para optimizar el diseño estructural. Este antecedente es relevante para la presente tesis porque reafirma la tendencia internacional hacia la automatización

del modelado y de la evaluación estructural dentro de plataformas computacionales integradas.

Cabrera et al. (2025), en el artículo titulado “Automation and Genetic Algorithm Optimization for Seismic Modeling and Analysis of Tall RC Buildings”, tuvieron como objetivo desarrollar un procedimiento automatizado para el modelado sísmico y el análisis de edificios altos de concreto armado utilizando Python y la API de ETABS. La metodología partió de la organización de datos geométricos, propiedades de materiales y cargas en un archivo Excel, a partir del cual se generó automáticamente el modelo estructural, incorporando además optimización de secciones mediante algoritmos genéticos. Entre los resultados, los autores reportaron automatización del proceso de modelado y una alta eficiencia en la búsqueda de soluciones estructurales con mejor desempeño frente a desplazamientos. Concluyeron que la programación aplicada al análisis sísmico-estructural puede optimizar el procesamiento y mejorar la evaluación de configuraciones variables. Este antecedente resulta pertinente para la presente investigación porque demuestra la utilidad de la automatización computacional en la evaluación estructural y sísmica.

Ávila et al. (2025), en la investigación titulada “Human–AI Teaming in Structural Analysis: A Model Context Protocol Approach for Explainable and Accurate Generative AI”, tuvieron como objetivo desarrollar un enfoque de interacción entre inteligencia artificial y análisis estructural basado en la conexión entre un modelo generativo y OpenSeesPy mediante el Model Context Protocol. La metodología consistió en integrar lenguaje natural, procesamiento automatizado y simulación estructural tridimensional de pórticos de concreto

armado dentro de una arquitectura conversacional reproducible y verificable. Entre los resultados, los autores reportaron desviaciones menores al 1.5 % frente a soluciones de referencia y una interacción más trazable durante la modelación. Concluyeron que la integración entre automatización, programación e inteligencia artificial puede evolucionar hacia entornos de análisis estructural más accesibles sin perder fidelidad computacional. Este antecedente es importante para la presente tesis porque muestra una línea reciente de evolución de las herramientas de modelación y análisis estructural.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Apaza Chino (2024), en la investigación titulada "Diseño estructural automatizado y paramétrico de viviendas de bajo costo, mediante el uso de algoritmos de programación visual, Cusco – Perú, 2019", tuvo como objetivo identificar las etapas del modelado, análisis y diseño estructural que podían ser abordadas mediante automatización y parametrización en viviendas de bajo costo. La metodología empleada correspondió a una investigación aplicada orientada al uso de programación algorítmica visual con DYNAMO sobre los pórticos de una vivienda unifamiliar de interés social. Entre los resultados, se evidenció la viabilidad de integrar lógica paramétrica en procesos de diseño estructural de viviendas. El autor concluyó que la automatización y parametrización pueden aplicarse de forma efectiva al diseño estructural de viviendas dentro del contexto peruano. Este antecedente resulta pertinente porque confirma la viabilidad nacional de integrar automatización y lógica paramétrica en herramientas aplicadas a edificaciones de vivienda.

Arenas Lazarte (2024), en la investigación sobre modelamiento estructural para automatizar el análisis sísmico de una edificación de concreto armado en Santiago de Surco mediante Python y su integración con ETABS, tuvo como objetivo sistematizar la evaluación sísmica mediante el desarrollo de códigos que permitieran procesar parámetros y ejecutar análisis lineales estáticos y dinámicos modales. La metodología se basó en la programación de rutinas computacionales vinculadas al análisis sísmico de una edificación de concreto armado y su integración con un software especializado. Entre los resultados, se reportó una mejora en el tiempo de procesamiento y en la precisión del análisis estructural. El autor concluyó que la automatización mediante programación constituye una herramienta útil para sistematizar la evaluación sísmica en edificaciones. Este antecedente guarda relación con la presente tesis porque evidencia la aplicabilidad de la programación en procesos estructurales y sísmicos.

Mendez Merino y Olivares Crisologo (2024), en la investigación titulada "Análisis dinámico de una estructura de concreto armado de 4 niveles de sistema aporticado con la aplicación del software OpenSees", tuvieron como objetivo realizar el análisis dinámico de una estructura aporticada de concreto armado mediante un entorno programable. La metodología correspondió a una investigación aplicada y cuantitativa en la que se evaluó una estructura de cuatro niveles mediante OpenSees. Entre los resultados, se reportaron cortantes basales, desplazamientos y derivas compatibles con los criterios de la Norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones. Los autores concluyeron que el uso de librerías programables permite obtener resultados sísmicos técnicamente consistentes. Este antecedente resulta relevante porque confirma la utilidad de

entornos programables para el análisis sísmico-estructural dentro del contexto peruano.

Anticona Latorre y Valencia Santillan (2024), en la investigación titulada "Aplicación de OpenSees en el análisis no lineal de una estructura de concreto armado con sistema aporticado de 5 niveles", tuvieron como objetivo aplicar OpenSees en la evaluación no lineal de una estructura de concreto armado de cinco niveles. La metodología utilizada fue de tipo cuantitativo y se apoyó en el empleo de OpenSees junto con normas peruanas y guías internacionales para el análisis del comportamiento estructural. Entre los resultados, se evidenció la factibilidad de utilizar herramientas programables en evaluaciones estructurales más avanzadas que las de tipo lineal. Los autores concluyeron que el uso de OpenSees amplía las posibilidades de análisis del comportamiento estructural de edificaciones aporticadas. Este antecedente es importante porque demuestra que las herramientas programables pueden extenderse a evaluaciones estructurales más complejas.

Mamani Apaza y Alania Leon (2025), en la investigación titulada "Análisis dinámico ante sismos no impulsivos de una edificación de concreto armado de 6 niveles con sistema de muros mediante OpenSeesPy, Tacna 2025", tuvieron como objetivo analizar el comportamiento dinámico de una edificación de concreto armado de seis niveles con sistema de muros ante sismos no impulsivos. La metodología empleada consistió en el modelado estructural mediante OpenSeesPy y la comparación de resultados con software de uso extendido en ingeniería estructural. Entre los resultados, se obtuvo una respuesta sísmica verificable y consistente con los criterios esperados para el sistema analizado. Los autores

concluyeron que el uso de herramientas computacionales abiertas puede generar resultados confiables y aplicables al análisis estructural en el país. Este antecedente resulta útil porque reafirma la confiabilidad del uso de entornos programables en el análisis sísmico-estructural peruano.

2.1.3. Antecedentes locales

Sáenz Gamboa y Saldaña Seopa (2023), en la investigación titulada "Análisis comparativo de los sistemas estructurales de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada de una vivienda multifamiliar de cinco niveles en el distrito de Callería – Coronel Portillo – Ucayali – 2021", tuvieron como objetivo comparar el comportamiento de dos sistemas estructurales aplicables a una vivienda multifamiliar de cinco niveles. La metodología correspondió a un análisis comparativo de dos alternativas estructurales evaluadas conforme al Reglamento Nacional de Edificaciones. Entre los resultados, se determinó que ambos sistemas cumplían con los criterios de diseño establecidos. Los autores concluyeron que las dos alternativas eran técnicamente viables dentro del caso estudiado. Este antecedente es pertinente porque evidencia interés local por evaluar alternativas estructurales aplicables a edificaciones de vivienda en Ucayali.

Gonzales Bocanegra y Gutierrez Vasquez (2024), en la investigación titulada "Análisis y evaluación de la vulnerabilidad del riesgo sísmico de las viviendas en el distrito de Calleria, provincia de Coronel Portillo del departamento de Ucayali, 2023", tuvieron como objetivo analizar la vulnerabilidad del riesgo sísmico de viviendas localizadas en el distrito de Callería. La metodología empleada estuvo orientada a la evaluación de viviendas dentro del ámbito local, tomando como

referencia criterios de vulnerabilidad sísmica. Entre los resultados, se confirmó la existencia de una línea de investigación local centrada en el comportamiento sísmico de edificaciones de vivienda. Los autores concluyeron que la revisión estructural y la evaluación del riesgo sísmico constituyen una necesidad vigente en el contexto de Ucayali. Este antecedente resulta importante porque refuerza la pertinencia de desarrollar herramientas de análisis estructural para la región.

Rodriguez Rios, Urrea Valdivia y Rafael Lean (2024), en la investigación titulada "Análisis de vulnerabilidad sísmica y propuesta de diseño de los elementos estructurales en las edificaciones de la Universidad Nacional de Ucayali", tuvieron como objetivo evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones del campus universitario y proponer el diseño de sus elementos estructurales. La metodología consistió en la evaluación estructural localizada de edificaciones universitarias dentro del contexto de la Universidad Nacional de Ucayali. Entre los resultados, se reportó vulnerabilidad sísmica baja en los laboratorios analizados, aunque también se identificó debilidad en columnas del primer nivel de uno de los bloques frente a un sismo moderado. Los autores concluyeron que la evaluación estructural localizada permite identificar condiciones de desempeño que requieren atención técnica. Este antecedente es relevante porque muestra la utilidad de la evaluación estructural detallada dentro del contexto regional.

Bartra Rengifo y Diaz Puyo (2024), en la investigación titulada "Análisis y evaluación de las estructuras curvas ejecutadas con acero corrugado ASTM A615 no soldable de las instituciones educativas públicas del nivel secundario del distrito de Callería, 2022", tuvieron como objetivo analizar y evaluar el estado estructural de estructuras curvas ejecutadas con acero corrugado no soldable en instituciones

educativas públicas. La metodología se basó en la inspección y evaluación técnica de estructuras ejecutadas en el distrito de Callería. Entre los resultados, se identificaron deficiencias en uniones soldadas, como fisuras, socavaciones y porosidades. Los autores concluyeron que resulta necesario fortalecer la revisión técnica de estructuras en el contexto local para prevenir comportamientos deficientes. Este antecedente aporta a la presente investigación porque evidencia la importancia de contar con evaluaciones estructurales sistemáticas en Ucayali.

Canales Ponce (2025), en la investigación titulada "Análisis funcional del reforzamiento estructural con FRP y encamisado de concreto armado para la reparación de vigas fatigadas en edificaciones residenciales, Pucallpa 2024", tuvo como objetivo evaluar el comportamiento de dos métodos de reforzamiento estructural para la reparación de vigas fatigadas en edificaciones residenciales. La metodología empleada se orientó al análisis funcional comparativo de ambos sistemas de reforzamiento. Entre los resultados, se observó que ambos métodos incrementaron la resistencia a la flexión, aunque el reforzamiento con FRP destacó por menor costo, menor tiempo de ejecución y mejor adaptabilidad geométrica. El autor concluyó que ambos métodos son técnicamente útiles, pero el FRP ofrece ventajas operativas y económicas dentro del caso analizado. Este antecedente resulta útil porque demuestra que la investigación estructural local también aborda alternativas de mejora del desempeño resistente, además del diagnóstico y la vulnerabilidad.

2.2. BASES TEÓRICAS

- **Modelo computacional aplicado al análisis estructural**

Los modelos computacionales constituyen herramientas de representación y procesamiento que permiten simular el comportamiento de sistemas complejos mediante algoritmos, formulaciones matemáticas y procedimientos numéricos. En ingeniería estructural, su importancia radica en que permiten integrar información geométrica, propiedades mecánicas, cargas y criterios de análisis dentro de un entorno único, favoreciendo procesos más rápidos, trazables y reproducibles. Krzywanski et al. (2024) señalan que los métodos computacionales actuales ya no se limitan a resolver problemas numéricos aislados, sino que articulan simulación, optimización y automatización en un mismo flujo de trabajo; en una línea más específica para estructuras, Plevris et al. (2025) destaca que los métodos computacionales vienen ocupando un papel cada vez más relevante en el análisis, diseño y evaluación de sistemas estructurales.

En ese marco, el modelo computacional desarrollado en esta tesis se entiende como un sistema programado para procesar una cantidad mínima de datos de entrada, parametrizar configuraciones geométricas razonables para viviendas y ejecutar el análisis sísmico-estructural con generación automatizada de resultados. Esta concepción coincide con la tendencia actual observada en herramientas abiertas para estructuras de concreto armado, como *StrucPy.RCFA*, desarrollada por Izhar et al. (2024), la cual fue diseñada para el análisis de miembros y pórticos de concreto armado en 2D y 3D, incorporando además facilidades de modelado y visualización.

- **Análisis matricial de estructuras**

El análisis matricial de estructuras constituye la base teórica central del presente estudio. Este método permite formular el comportamiento estructural mediante

relaciones algebraicas entre rigidez, desplazamientos, reacciones y fuerzas internas, organizadas a través de matrices y vectores. Plevris y Ahmad (2025) resaltan que el análisis matricial permite obtener expresiones y soluciones para desplazamientos, reacciones de apoyo y fuerzas internas, mientras que Plevris et al. (2025) muestran que esta misma lógica puede extenderse a diferentes configuraciones estructurales, como armaduras planas, manteniendo una formulación sistemática y reproducible. Desde esa perspectiva, el análisis matricial no solo constituye una técnica de cálculo, sino también una base conceptual para estructurar el procesamiento computacional del sistema desarrollado en la presente investigación.

Dentro de esta formulación, la estructura se idealiza como un conjunto de elementos interconectados cuyas contribuciones individuales se ensamblan para representar la respuesta global del sistema. Esa característica resulta especialmente adecuada para una herramienta computacional como la desarrollada en esta tesis, ya que permite admitir variaciones geométricas en tramos, alturas y disposición de elementos, sin perder consistencia en la formulación del análisis. Por ello, el método matricial constituye el soporte teórico que hace posible traducir la configuración estructural ingresada por el usuario en resultados tales como desplazamientos, reacciones, esfuerzos internos y envolventes.

- **Edificaciones aporticadas y reticulares**

Desde el punto de vista estructural, una edificación aporticada está conformada principalmente por vigas y columnas unidas de modo que trabajan como un sistema resistente frente a acciones verticales y laterales. En la presente tesis, además de esa condición aporticada, se incorpora la noción de sistema reticular para describir una

organización espacial compuesta por elementos lineales interconectados en ambas direcciones principales y en distintos niveles. Este enfoque es coherente con el tratamiento tridimensional de pórticos de concreto armado empleado en herramientas recientes, como la propuesta de Izhar et al. (2024), que contempla marcos de concreto armado en 2D y 3D, y con el procedimiento automatizado de Cabrera et al. (2025), orientado al modelado sísmico y análisis de edificios altos de concreto armado a partir de datos geométricos organizados computacionalmente.

En esa lógica, el término “reticulares” dentro del título de la investigación se comprende como la representación de una malla estructural tridimensional de vigas y columnas, susceptible de ser tratada mediante métodos matriciales. No se trata de un sistema desvinculado del comportamiento aporticado, sino de una forma de describir la organización geométrica y resistente del modelo estructural dentro del entorno computacional. Esta precisión teórica es importante porque permite alinear el título de la tesis con el funcionamiento real del software, el cual admite configuraciones geométricas variables dentro de un esquema espacial ordenado.

- **Parametrización geométrica y reducción de datos de entrada**

La parametrización geométrica constituye una estrategia mediante la cual la estructura puede ser definida a partir de variables de entrada esenciales, como tramos, alturas, disposición de ejes y secciones iniciales. En herramientas de análisis estructural contemporáneas, esta lógica busca reducir la complejidad del modelado manual y permitir que la configuración estructural sea modificada de forma flexible sin reconstruir completamente el sistema. Izhar et al. (2024) destacan que la simplificación del ingreso de datos y la autogeneración de configuraciones estructurales mejoran la

accesibilidad del análisis, mientras que Cabrera et al. (2025) muestran que la organización previa de datos geométricos y materiales permite automatizar la generación del modelo y su evaluación sísmica.

Aplicado a esta tesis, ello significa que el modelo computacional no ha sido concebido para una sola edificación fija, sino para admitir configuraciones geométricas razonables de vivienda a partir de pocos datos de entrada. Esta característica le otorga valor metodológico y tecnológico al sistema, porque concentra el esfuerzo del usuario en definir la geometría básica y propiedades iniciales, mientras el programa se encarga del procesamiento posterior, incluyendo el análisis y la presentación de resultados.

- **Propiedades mecánicas del concreto armado**

Las propiedades mecánicas de los materiales constituyen un componente indispensable del modelo estructural, ya que condicionan la rigidez y la respuesta resistente de los elementos. En el caso del concreto armado, la resistencia a compresión del concreto se utiliza como dato básico para caracterizar el comportamiento del sistema y para sustentar el análisis de vigas, columnas y losas dentro del modelo. En el contexto peruano, la Norma Técnica E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones establece el marco técnico aplicable al concreto armado, mientras que el propio Reglamento Nacional de Edificaciones mantiene carácter obligatorio para los proyectos y edificaciones que se desarrollan en el territorio nacional.

En la presente investigación, la resistencia del concreto forma parte de los datos esenciales que el usuario ingresa en el sistema. Desde el punto de vista teórico, esto responde a que el modelo computacional requiere una propiedad mecánica de base para procesar la estructura dentro de un esquema de análisis consistente. Por ello, aunque el

software simplifica el ingreso de información, mantiene como dato indispensable una variable mecánica que influye directamente en el comportamiento del sistema estructural.

- **Análisis sísmico de edificaciones de vivienda**

  El análisis sísmico constituye una fase esencial en la evaluación estructural de edificaciones, debido a que permite estimar la respuesta del sistema resistente frente a acciones laterales inducidas por sismos. En el contexto peruano, este análisis se enmarca en el Reglamento Nacional de Edificaciones y, de manera específica, en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, la cual establece exigencias mínimas para la estimación de la respuesta sísmica, incluyendo parámetros como desplazamientos, derivas, períodos y cortante basal (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2019). Además, en 2024 se creó un grupo de trabajo para actualizar la E.030 y, en 2025, se dispuso la publicación del proyecto de modificación, lo que confirma la vigencia técnica del tema dentro de la práctica estructural peruana (MVCS, 2024, 2025).

  En la presente investigación, esta base teórica sustenta la incorporación automática de parámetros sísmicos en función de la ubicación seleccionada dentro de Ucayali, así como la obtención de resultados globales y locales del comportamiento estructural. Por ello, el análisis sísmico no se entiende solo como una etapa numérica del procesamiento, sino como un componente central de la formulación del modelo computacional desarrollado (MVCS, 2019).

- **Herramientas abiertas y automatización en ingeniería estructural**

La automatización en ingeniería estructural viene consolidándose mediante herramientas computacionales que integran modelación, análisis y visualización dentro de un mismo entorno de trabajo. En esa línea, Izhar et al. (2024) desarrollaron StrucPy.RCFA, una herramienta abierta en Python para el análisis estructural de miembros y pórticos de concreto armado en 2D y 3D, destacando su utilidad para estudiantes e investigadores. Del mismo modo, Plevris et al. (2025) señalan que los métodos computacionales actuales tienen una influencia creciente en el análisis, diseño y evaluación de sistemas estructurales, al articular simulación, procesamiento numérico y nuevas estrategias de automatización.

Estas tendencias respaldan el enfoque adoptado en la presente tesis, ya que el modelo desarrollado no solo automatiza el ingreso mínimo de datos y el procesamiento sísmico-estructural, sino que además genera reportes, visor de resultados y un mecanismo de validación comparativa. Desde esta base teórica, el sistema puede entenderse como una herramienta computacional aplicada que integra funciones de modelación, análisis y verificación dentro de una misma propuesta tecnológica.

- **Automatización del procesamiento sísmico según ubicación**

Una de las características más relevantes del modelo desarrollado es la incorporación automática de parámetros sísmicos en función de la ubicación seleccionada por el usuario dentro de Ucayali. Teóricamente, esta automatización responde a una lógica de integración entre base normativa, datos territoriales y procesamiento estructural, con el propósito de reducir errores de ingreso y hacer más eficiente la evaluación. En estudios recientes, tanto la automatización del modelado sísmico de Cabrera et al. (2025) como los flujos de trabajo asistidos por inteligencia

artificial de Ávila et al. (2025) muestran que la tendencia actual consiste en transferir al sistema parte del procesamiento que tradicionalmente recaía de forma manual en el usuario.

En la presente investigación, esa automatización no solo simplifica el ingreso de datos, sino que además fortalece la consistencia del proceso, ya que el usuario no necesita introducir manualmente cada parámetro sísmico. De este modo, el modelo computacional actúa como un sistema de apoyo a la evaluación estructural, articulando la selección espacial con el procesamiento sísmico y el posterior análisis matricial.

- **Verificación del análisis y generación de resultados estructurales**

Una herramienta computacional orientada al análisis estructural no solo debe procesar datos, sino también ofrecer criterios de verificación y salidas que permitan interpretar el comportamiento resistente de la estructura. En investigaciones recientes, la automatización se ha vinculado no solo con el modelado, sino también con la posibilidad de revisar el desempeño obtenido y orientar decisiones antes de cerrar el flujo de trabajo. Rossi y Winands (2025) muestran que la automatización puede utilizarse para explorar alternativas estructurales dentro de un mismo proceso, mientras que Ávila et al. (2025) resaltan el valor de la trazabilidad y de la interacción directa con el análisis para validar los resultados obtenidos.

Bajo esta base teórica, en la presente tesis se considera fundamental que el sistema emita alertas previas de cumplimiento o incumplimiento antes de exportar la memoria de cálculo, ya que ello permite replantear la geometría o ajustar la configuración estructural cuando el análisis no satisface las condiciones evaluadas. Asimismo, la generación de resultados como desplazamientos, derivas, reacciones,

esfuerzos axiales, cortantes y momentos envolventes, junto con la memoria técnica y el visor gráfico, responde a una concepción del software no solo como calculador, sino como herramienta de interpretación técnica del comportamiento estructural.

- **Implementación operativa del software**

  Desde una perspectiva de desarrollo tecnológico, la implementación operativa de un sistema computacional implica que el software no permanezca únicamente en fase de codificación o prueba interna, sino que alcance una forma de despliegue que permita su ejecución en condiciones de uso. La documentación técnica de Microsoft sobre despliegue de aplicaciones y publicación en archivo único muestra que el proceso de implementación puede incluir la generación de binarios ejecutables y el uso de mecanismos de despliegue que faciliten la instalación o distribución del programa en equipos de destino (Microsoft, 2024, 2025).

  En esa línea, la conversión del programa a archivo ejecutable y su empaquetado mediante instalador funcional refuerzan el valor aplicado del proyecto, porque evidencian que el sistema puede ser desplegado y utilizado fuera del entorno directo de programación. Por ello, la implementación operativa del software debe entenderse como un resultado complementario que fortalece la utilidad práctica del modelo computacional propuesto (Microsoft, 2024, 2025).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **Análisis modal espectral.**

  Es un procedimiento de evaluación sísmica en el que la respuesta estructural se obtiene a partir de la contribución de varios modos de vibración y de su combinación, conforme

a lo contemplado por la Norma E.030 para el análisis estructural de edificaciones (MVCS, 2016).

- **Análisis matricial de estructuras.**

  Es un método de análisis estructural que organiza la relación entre rigideces, desplazamientos, reacciones y fuerzas internas mediante matrices y vectores, permitiendo resolver de manera sistemática el comportamiento de una estructura (Plevris & Ahmad, 2025).

- **Análisis sísmico.**

  Es el procedimiento mediante el cual se evalúa la respuesta de una estructura frente a la acción de un sismo, siguiendo las condiciones mínimas establecidas por la Norma E.030 para lograr un comportamiento sismorresistente aceptable (MVCS, 2016).

- **Columna.**

  Es un elemento estructural lineal, generalmente vertical, destinado a transmitir cargas desde niveles superiores hacia la cimentación y sometido principalmente a compresión, aunque también puede desarrollar flexión y corte según la acción sísmica y la configuración estructural (MVCS, 2009/2016).

- **Compatibilización de resultados**

  Se entiende como el proceso de contraste técnico entre resultados obtenidos por dos entornos de análisis estructural, con el propósito de verificar su correspondencia numérica y gráfica bajo condiciones equivalentes de modelación y evaluación. En esta investigación, la compatibilización se realiza entre el modelo desarrollado y SAP2000, como parte del proceso de validación comparativa del sistema (Yeo, 2020; Computers and Structures, Inc., s. f.).

- **Concreto armado.**

  Es el material estructural conformado por concreto y acero de refuerzo, cuya acción conjunta permite resistir esfuerzos de compresión, tracción, corte y flexión, y cuyo uso en edificaciones está regulado por la Norma Técnica E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (MVCS, 2009/2016).

- **Cortante basal.**

  Es la fuerza cortante total que actúa en la base de la estructura como consecuencia de la acción sísmica. La Norma E.030 la reconoce como uno de los resultados fundamentales del análisis y exige su consideración en ambas direcciones principales (MVCS, 2016).

- **Deriva de entrepiso.**

  Es el desplazamiento relativo entre dos niveles consecutivos de una edificación, utilizado como indicador del nivel de deformación lateral de la estructura. La Norma E.030 establece límites admisibles para este parámetro dentro de los requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad (MVCS, 2016).

- **Desplazamiento lateral.**

  Es el movimiento horizontal que experimenta la estructura o un nivel de ella como respuesta a la acción sísmica. La Norma E.030 considera este parámetro dentro de la determinación y control del comportamiento estructural frente a sismos (MVCS, 2016).

- **Edificación aporticada.**

  Corresponde a una configuración estructural en la que la resistencia está dada principalmente por vigas y columnas conectadas entre sí, formando pórticos capaces de transmitir acciones verticales y laterales hacia la cimentación, dentro del marco del

diseño sismorresistente y del concreto armado regulado por el RNE (MVCS, 2009/2016).

- **Edificación reticular.**

  En el contexto de esta investigación, se entiende como una estructura organizada mediante una malla espacial de elementos lineales interconectados en ambas direcciones principales y en distintos niveles, lo que permite su tratamiento tridimensional mediante formulaciones matriciales (Izhar et al., 2024; Plevris & Ahmad, 2025).

- **Ejecutable**

  Es el archivo generado a partir del desarrollo de software que permite la ejecución directa del programa por parte del usuario. En entornos modernos de despliegue, la publicación del software puede consolidar los archivos dependientes en un único binario o archivo ejecutable, facilitando su distribución e instalación en equipos de destino (Microsoft, 2025).

- **Esfuerzos internos envolventes.**

  Son los valores máximos y mínimos de respuesta interna que puede desarrollar un elemento estructural ante las combinaciones de carga analizadas, e incluyen principalmente fuerza axial, fuerza cortante y momento flector. Su uso permite identificar las condiciones más críticas de trabajo de cada elemento dentro del modelo estructural (Plevris & Ahmad, 2025; MVCS, 2009/2016).

- **Espectro de respuesta.**

  Es la representación de la respuesta máxima esperada de un sistema estructural frente a una excitación sísmica, en función de su período de vibración. En la Norma E.030,

el espectro de pseudoaceleraciones constituye parte del marco para definir la acción sísmica de diseño (MVCS, 2016).

- **Hoja comparativa en Excel**

  Es el registro tabulado que consolida los resultados obtenidos por diferentes plataformas de análisis, permitiendo organizar la comparación cuantitativa entre magnitudes estructurales y calcular variaciones porcentuales. En esta investigación, se utiliza para comparar los resultados generados por UNU STRUCT y SAP2000 dentro del proceso de validación del modelo (Yeo, 2020).

- **Instalador**

  Es el componente de software utilizado para desplegar una aplicación en un equipo de destino, organizando los archivos y acciones necesarias para que el programa pueda quedar disponible para su ejecución. En términos de despliegue de aplicaciones, el instalador forma parte del proceso mediante el cual el software es puesto a disposición del usuario final (Microsoft, 2024).

- **Interoperabilidad**

  Se refiere a la capacidad de un sistema para intercambiar o utilizar información dentro de un flujo de trabajo común con otras herramientas computacionales. En el contexto de esta tesis, se manifiesta en la posibilidad de abrir el modelo equivalente en SAP2000 para revisar y contrastar resultados estructurales (Computers and Structures, Inc., s. f.).

- **Losa.**

  Es un elemento estructural superficial que trabaja como parte del sistema resistente del entrepiso o cubierta, transfiriendo cargas hacia vigas, muros o columnas, y cuyo comportamiento y refuerzo están regulados por la Norma E.060 (MVCS, 2009/2016).

- **Modelo computacional.**

  Se entiende como una representación de un sistema real mediante formulaciones matemáticas, algoritmos y procedimientos de procesamiento, con el propósito de simular, analizar o predecir su comportamiento dentro de un entorno informático (Krzywanski et al., 2024).

- **Parametrización geométrica.**

  Es el proceso mediante el cual la geometría estructural se define a partir de variables de entrada, tales como tramos, alturas, niveles y secciones iniciales, permitiendo modificar la configuración del modelo sin rehacer completamente su formulación (Izhar et al., 2024).

- **Período fundamental.**

  Es el tiempo característico asociado al modo principal de vibración de la estructura. La Norma E.030 lo considera un parámetro básico tanto para el análisis estático como para el análisis dinámico, y exige su presentación en ambas direcciones principales del edificio (MVCS, 2016).

- **Reacción de apoyo.**

  Es la respuesta que se genera en los apoyos o restricciones de la estructura para equilibrar las cargas aplicadas. En el análisis matricial, las reacciones de apoyo forman parte de los resultados básicos que se obtienen junto con los desplazamientos y las fuerzas internas (Plevris & Ahmad, 2025).

- **Resistencia a compresión del concreto (f'c).**

  Es la propiedad mecánica que expresa la capacidad del concreto para resistir esfuerzos de compresión y constituye un dato básico para el análisis y diseño de elementos de

concreto armado, usualmente expresado en kg/cm² dentro del contexto normativo peruano (MVCS, 2009/2016).

- **Rigidez estructural.**

  Es la capacidad de un elemento o de una estructura para oponerse a la deformación frente a la aplicación de cargas. En el análisis matricial, la rigidez constituye una propiedad central porque relaciona las acciones aplicadas con los desplazamientos resultantes (Plevris & Ahmad, 2025).

- **Validación de resultados**

  Es el proceso mediante el cual se determina el grado en que los resultados generados por un modelo computacional representan de manera aceptable el comportamiento esperado para el uso previsto. Su finalidad es aportar evidencia sobre la credibilidad del sistema analizado dentro de un contexto de aplicación definido (Yeo, 2020).

- **Verificación del modelo computacional**

  Es el proceso orientado a comprobar que la implementación computacional representa correctamente el modelo matemático y que su solución numérica es consistente con la formulación adoptada. Su finalidad es establecer la corrección interna del sistema antes o durante su aplicación (Yeo, 2020).

- **Viga.**

  Es un elemento estructural lineal, generalmente horizontal, diseñado para resistir principalmente esfuerzos de flexión y corte producidos por cargas transversales, y forma parte de los sistemas de concreto armado regulados por la Norma E.060 (MVCS, 2009/2016).

- **Visor de resultados**

Es la interfaz gráfica destinada a mostrar diagramas, esfuerzos y respuestas estructurales del modelo analizado, facilitando la interpretación técnica del comportamiento global y local de la estructura. En herramientas contemporáneas de análisis estructural, la visualización forma parte del entorno integrado de modelación y revisión de resultados (Izhar et al., 2024; Computers and Structures, Inc., s. f.).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. METODO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación se desarrolló bajo el método científico, debido a que partió de la identificación de un problema, la formulación de objetivos, la definición de variables y el planteamiento de un procedimiento sistemático orientado al desarrollo de un modelo computacional para el análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas. Este enfoque es coherente con investigaciones orientadas a resolver problemas concretos mediante procedimientos organizados, verificables y técnicamente sustentados.

3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, porque estuvo orientada a la solución de una necesidad concreta dentro del campo de la ingeniería civil, mediante el desarrollo de un modelo computacional para el análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares en viviendas de Ucayali. La investigación aplicada se caracteriza por orientar el conocimiento hacia la solución de problemas específicos y hacia fines prácticos antes que a la formulación teórica abstracta como propósito principal (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018).

En ese sentido, el estudio no se limitó a la explicación teórica del análisis estructural, sino que propuso e implementó una herramienta funcional capaz de sistematizar el ingreso de datos, automatizar parte del procesamiento sísmico y estructural, generar resultados técnicamente interpretables y validar su consistencia mediante comparación con SAP2000. Por ello, su carácter aplicado

se sustenta en la producción de una solución utilizable dentro de un contexto técnico definido.

3.1.2. Nivel de investigación

La investigación presenta un nivel descriptivo, debido a que se orientó a describir el funcionamiento del modelo computacional desarrollado y los resultados estructurales obtenidos a partir de su aplicación en configuraciones geométricas compatibles con edificaciones de vivienda. Hernández-Sampieri y Mendoza (2018) señalan que, dentro del diseño cuantitativo, la investigación descriptiva se ubica en el ámbito no experimental y se centra en caracterizar fenómenos, variables o resultados sin manipulación deliberada.

Este nivel se expresa en la caracterización técnica del sistema, en la descripción de sus funcionalidades principales y en la presentación de resultados como desplazamientos, derivas, cortantes, reacciones y esfuerzos internos envolventes. Asimismo, comprende la descripción del proceso de validación comparativa con SAP2000 y de la implementación final del sistema en una versión ejecutable con instalador funcional, como logros complementarios de desarrollo.

3.1.3. Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es no experimental, porque las variables no fueron manipuladas deliberadamente para provocar cambios artificiales en el fenómeno de estudio, sino que se observó, desarrolló y evaluó el funcionamiento del modelo computacional dentro de su ámbito de aplicación. En los diseños no experimentales, el investigador describe o examina variables sin

intervención experimental directa, lo que resulta compatible con estudios descriptivos de sistemas o procesos técnicos Slater y Hasson (2025).

Asimismo, el estudio presenta un diseño transeccional o transversal, ya que la evaluación del sistema y de los resultados estructurales generados se realizó dentro de un periodo determinado del desarrollo de la investigación, sin seguimiento longitudinal. Los estudios transversales observan un fenómeno o conjunto de variables en un único momento o en un periodo definido, pudiendo adoptar un carácter descriptivo o analítico según su objetivo (Pérez-Guerrero et al., 2024).

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

En investigación, la población se entiende como el conjunto de casos definido, limitado y accesible que constituye el referente del estudio, mientras que la muestra corresponde a una parte de esa población seleccionada para su análisis cuando no es posible o necesario abordar el universo completo (Arias-Gómez et al., 2016; Otzen & Manterola, 2017). En la presente tesis, estas nociones deben adaptarse al carácter aplicado y tecnológico del trabajo, debido a que no se estudia una población humana, sino configuraciones estructurales procesadas mediante un modelo computacional.

3.2.1. Población

La población de estudio estuvo constituida por las **configuraciones geométricas razonables de edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas en Ucayali**, susceptibles de ser modeladas mediante el sistema desarrollado. En metodología de investigación, la población corresponde al conjunto total de unidades, casos o fenómenos sobre los cuales se desea realizar el estudio, y puede definirse también

a partir del tipo de entidad analizada, no necesariamente de personas (Willie, 2024; Hossan et al., 2023).

En ese sentido, la población no se define aquí por individuos ni por edificaciones construidas específicas, sino por el conjunto de configuraciones estructurales que pueden ser representadas, procesadas y evaluadas por el software dentro del alcance funcional previsto para la investigación. Esta delimitación resulta coherente con el carácter aplicado y computacional del estudio.

3.2.2. Muestra

La muestra del estudio se abordó en dos niveles complementarios. En primer lugar, durante la etapa final de verificación funcional del sistema se sistematizaron 12 configuraciones estructurales representativas de edificaciones aporticadas de concreto armado, con fines de prueba funcional, verificación operativa y ajuste del modelo computacional. En segundo lugar, para la validación comparativa formal presentada en la tesis, se seleccionó de manera intencional una configuración estructural representativa, elegida por su compatibilidad con el alcance del sistema, su factibilidad de modelación equivalente en SAP2000 y su aptitud para contrastar resultados globales y locales mediante los pórticos más cargados en los planos XZ y YZ. Esta decisión es coherente con el muestreo no probabilístico intencional, el cual consiste en seleccionar casos relevantes y técnicamente pertinentes para los objetivos del estudio, más que buscar representatividad estadística en sentido estricto (Otzen & Manterola, 2017; Arias-Gómez et al., 2016).

Esta selección permitió sustentar la validación comparativa del sistema bajo condiciones equivalentes de análisis, sin pretender una generalización estadística a toda

posible configuración geométrica, sino una verificación técnica dentro del alcance funcional previsto para edificaciones de vivienda.

Unidad de análisis

La unidad de análisis estuvo representada por **cada configuración estructural ingresada al sistema computacional**, procesada a partir de datos geométricos básicos, secciones iniciales de elementos y resistencia del concreto, con la finalidad de obtener resultados como desplazamientos, derivas, cortantes, reacciones y esfuerzos internos envolventes. La unidad de análisis corresponde al elemento específico sobre el cual recae la observación o el examen principal del estudio, y puede estar constituida por individuos, grupos, organizaciones, casos o configuraciones técnicas, según la naturaleza de la investigación (Hossan et al., 2023).

En consecuencia, la evaluación metodológica del estudio se centró en el desempeño del modelo computacional frente a configuraciones estructurales aplicables a viviendas, así como en la consistencia de los resultados obtenidos y su compatibilización con SAP2000.

Para la validación comparativa formal, se consideraron además como unidades de contraste los pares equivalentes de resultados generados por UNU STRUCT y SAP2000, organizados a partir de los pórticos más cargados en los planos XZ y YZ, incluyendo respuestas envolventes de vigas y columnas. Esta precisión es consistente con el concepto de unidad de análisis como el elemento concreto sobre el cual recae la observación principal del estudio, el cual puede estar constituido por casos, objetos o configuraciones técnicas según la naturaleza de la investigación (Arias-Gómez et al., 2016).

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. Técnicas

Para el desarrollo de la presente investigación se empleó la **observación técnica directa**, debido a que permitió examinar el funcionamiento del modelo computacional durante el ingreso de datos, la ejecución del análisis sísmico-estructural y la generación de resultados. Esta técnica fue utilizada para verificar el comportamiento operativo del sistema frente a diferentes configuraciones geométricas aplicables a edificaciones de vivienda.

Asimismo, se utilizó la **revisión documental**, orientada a recopilar y analizar información normativa, bibliográfica y técnica relacionada con el análisis estructural, el análisis sísmico, el concreto armado y el desarrollo de herramientas computacionales aplicadas a la ingeniería civil. Esta técnica permitió sustentar teóricamente la investigación y establecer los criterios empleados en la formulación del modelo.

De igual manera, se aplicó la **prueba funcional del sistema**, mediante la ejecución del software con diferentes configuraciones estructurales, con el propósito de verificar la consistencia del procesamiento, la automatización del ingreso mínimo de datos, la asignación de parámetros sísmicos según ubicación, la obtención de resultados estructurales interpretables y su contrastación con SAP2000.

3.3.2. Instrumentos

Como instrumento principal se empleó el modelo computacional desarrollado, el cual permitió ingresar la geometría estructural, las dimensiones iniciales de los elementos y la resistencia del concreto, así como ejecutar el análisis sísmico-estructural y generar resultados técnicos del comportamiento de la estructura. También se utilizó la memoria de cálculo generada por el sistema como instrumento de registro y verificación de resultados, y el visor de resultados del software como instrumento complementario para la inspección gráfica y técnica del comportamiento estructural de los elementos analizados.

De manera adicional, se utilizó el software SAP2000 como instrumento de validación técnica, con la finalidad de contrastar y compatibilizar los resultados estructurales obtenidos por el sistema propuesto. También se empleó una hoja de cálculo en Excel generada por el propio sistema, en la cual se consolidaron los resultados obtenidos por UNU STRUCT y por SAP2000, permitiendo cuantificar la variación entre ambas plataformas de análisis. Finalmente, se consideró como instrumento complementario de implementación la versión ejecutable del sistema y su instalador funcional, los cuales permitieron verificar la instalación y ejecución del software en equipos compatibles con Windows sin requerir la configuración manual del entorno de desarrollo.

3.4. TRATAMIENTO DE DATOS

El tratamiento de datos se inició con el ingreso de la información básica requerida por el sistema, comprendida por la geometría estructural, las dimensiones iniciales de vigas, columnas y losas, así como la resistencia del concreto. A partir de estos datos, el

programa procesó automáticamente la formulación estructural y la información sísmica correspondiente según la ubicación seleccionada dentro de Ucayali.

Posteriormente, el sistema ejecutó el análisis sísmico y estructural, generando resultados técnicos expresados en desplazamientos, derivas, cortantes, reacciones y esfuerzos internos envolventes. Para la validación comparativa formal, el programa generó automáticamente una hoja de cálculo en Excel a partir de una configuración estructural representativa seleccionada intencionalmente, tomando como referencia los pórticos más cargados en los planos XZ y YZ. Sobre esta base se organizaron 36 pares equivalentes de comparación entre UNU STRUCT y SAP2000, correspondientes a resultados envolventes de vigas y columnas, lo que permitió cuantificar la variación porcentual y efectuar una revisión visual y numérica entre ambas plataformas. Este procedimiento es consistente con el uso de muestras intencionales y técnicamente pertinentes dentro del alcance del estudio (Otzen & Manterola, 2017).

Además, la validación no se limitó a la comparación numérica, sino que incluyó una verificación visual mediante el visor de resultados del software y su comparación directa con los diagramas mostrados en SAP2000. Finalmente, como parte complementaria del desarrollo, el proyecto fue organizado en una estructura modular de archivos, convertido a archivo ejecutable y empaquetado mediante un instalador funcional. Con ello se verificó la implementación operativa del sistema, permitiendo su instalación y ejecución en equipos compatibles con Windows.

La comprobación de los indicadores de la variable independiente no se sustentó únicamente en la salida interna del software, sino también en procedimientos de contraste externo mediante SAP2000, hoja comparativa en Excel y revisión técnica del

investigador, especialmente en los componentes relacionados con validación comparativa, correspondencia de parámetros y consistencia de resultados.

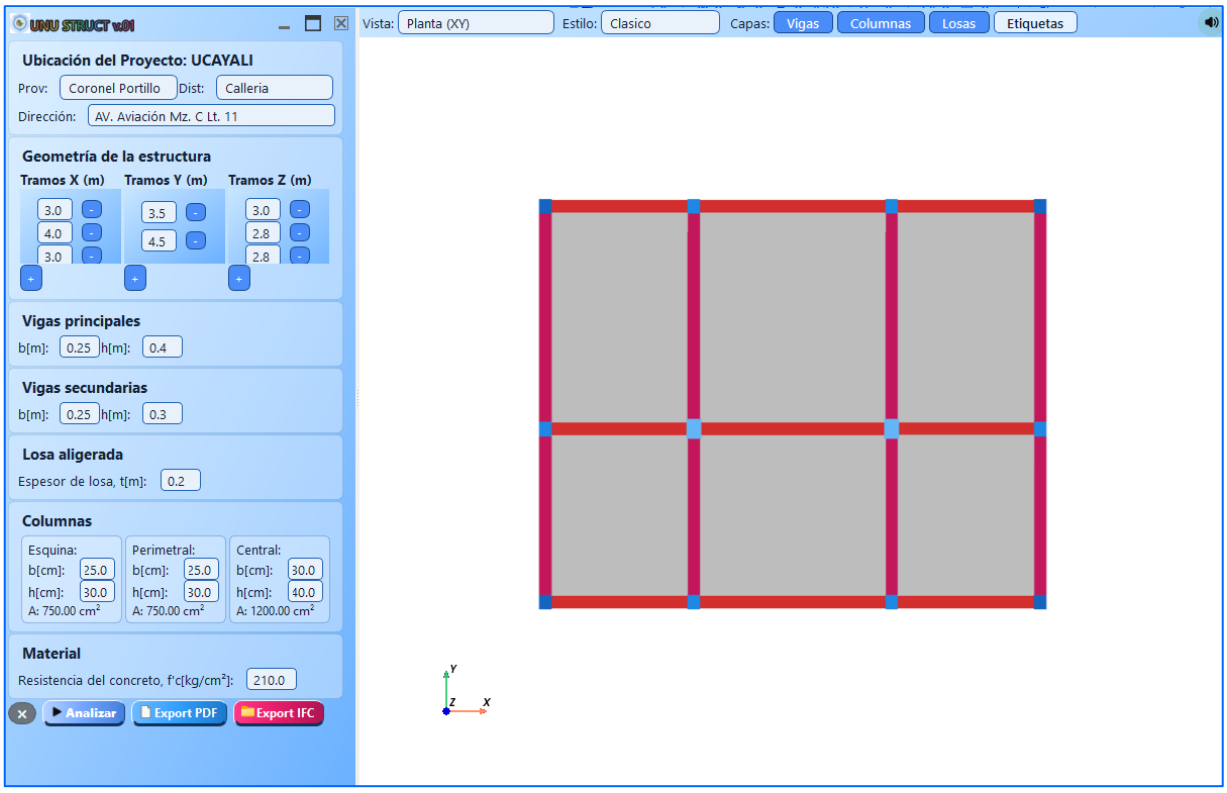
CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

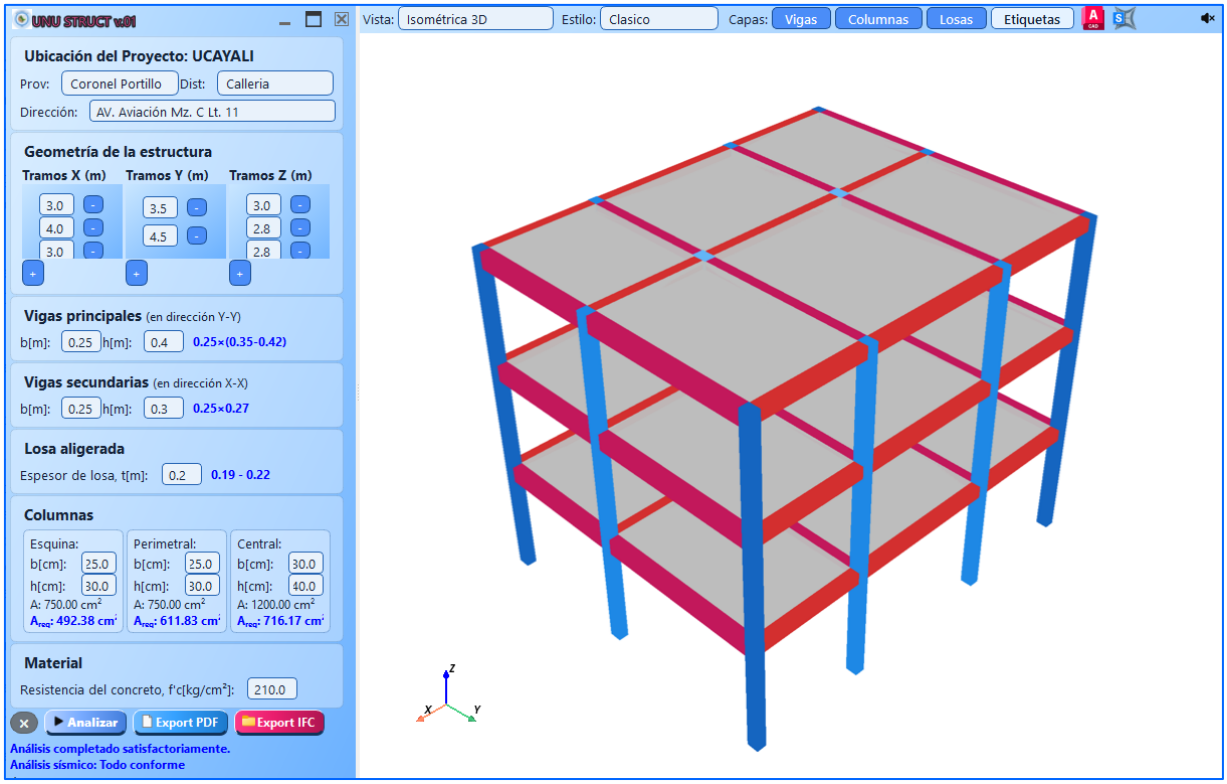
Como resultado principal de la investigación, se desarrolló el software UNU STRUCT v.01, orientado al análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas en Ucayali. El sistema fue diseñado para requerir un ingreso mínimo de datos, centrado principalmente en la ubicación del proyecto, la geometría estructural, las dimensiones iniciales de vigas, columnas y losas, así como la resistencia del concreto. A partir de dicha información, el programa procesa automáticamente los parámetros sísmicos correspondientes a la ubicación seleccionada y ejecuta el análisis estructural del modelo.

Figura 1. Interfaz principal de UNU STRUCT v.01 con ingreso de datos y ejecución del análisis



En términos funcionales, el software permite definir tramos en las direcciones principales, alturas de nivel y dimensiones preliminares de los elementos estructurales, generando una representación tridimensional del sistema resistente. Esta representación permite visualizar de manera inmediata la configuración estructural del modelo, lo que facilita la revisión preliminar de la geometría antes de proceder con el análisis.

Figura 2. Representación tridimensional del modelo estructural generado por el sistema



Asimismo, el sistema ejecuta el análisis sísmico y estructural del modelo, obteniendo resultados como desplazamientos, derivas, cortantes, reacciones y esfuerzos internos envolventes. Estos resultados pueden ser revisados tanto en la memoria de cálculo exportada como en el visor incorporado al software, el cual permite inspeccionar el comportamiento global y local de la estructura mediante diagramas y lecturas gráficas por elemento.

Otro resultado relevante corresponde al mecanismo de verificación previa del análisis sísmico, mediante el cual el sistema informa al usuario si el modelo cumple o no cumple las condiciones evaluadas antes de emitir la memoria de cálculo final. Esta característica representa un aporte funcional importante, debido a que permite identificar oportunamente condiciones de cumplimiento o incumplimiento y, en consecuencia, replantear la geometría estructural o ajustar la configuración del modelo antes de la exportación definitiva.

Como parte del proceso de validación, una vez ejecutado el análisis, el software habilita una opción de acceso directo a SAP2000, permitiendo abrir el modelo equivalente para la compatibilización de resultados. De manera complementaria, el sistema genera una hoja de cálculo en Excel en la que se consolidan los resultados obtenidos por UNU STRUCT y por SAP2000, posibilitando la comparación cuantitativa entre ambas plataformas.

Durante la etapa final de verificación funcional del sistema se sistematizaron 12 configuraciones estructurales representativas de viviendas aporticadas de concreto armado, con el propósito de verificar la operatividad general del software frente a variaciones geométricas compatibles con su alcance funcional. No obstante, para efectos de la validación comparativa formal presentada en la tesis, se seleccionó una configuración estructural representativa, a partir de la cual se organizó la comparación entre UNU STRUCT y SAP2000 bajo condiciones equivalentes de modelación y análisis. La selección intencional de un caso representativo para contrastación técnica es compatible con el muestreo no probabilístico orientado por pertinencia metodológica (Otzen & Manterola, 2017).

Tabla 2. Resumen de configuraciones evaluadas y validación comparativa

Etapa	Cantidad	Descripción
Configuraciones evaluadas en verificación funcional documentada	12	Configuraciones geométricas representativas compatibles con el alcance del sistema
Configuración seleccionada para validación comparativa formal con SAP2000	1	Configuración estructural representativa
Pares equivalentes comparados	36	Comparaciones entre UNU STRUCT y SAP2000 en los planos XZ y YZ

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 2, la evidencia metodológica del estudio se estructuró en dos niveles: una verificación funcional documentada sobre 12 configuraciones representativas y una validación comparativa formal sobre una configuración estructural representativa, de la cual se derivaron 36 pares equivalentes de comparación con SAP2000. Esta organización permitió diferenciar con claridad la etapa de prueba funcional del sistema y la etapa de contrastación formal de resultados.

Tabla 3. Configuración estructural representativa empleada para la validación comparativa formal del sistema.

Datos de entrada		Valor
Tramos en X [m]	:	3.00, 4.00, 3.00
Tramos en Y [m]	:	3.50, 4.50
Tramos en Z [m]	:	3.00, 2.80, 2.80
Vigas principales bxh [m]	:	0.25x0.40
Vigas secundarias bxh [m]	:	0.25x0.30
Losa aligerada h [m]	:	0.20
Columna central, bxh [cm^2]	:	30.00x40.00 = 1200.00
Columna perimetral, bxh [cm^2]	:	25.00x30.00 = 750.00
Columna en esquina, bxh [cm^2]	:	25.00x30.00 = 750.00
Resistencia del concreto, f'c [kg/cm^2]	:	210.00

Tabla 4. Distribución de los pares comparados entre UNU STRUCT y SAP2000

Plano	Tipo de elemento	Número de pares	Criterio de selección	Magnitudes contrastadas
XZ	Vigas	9	Pórtico más cargado del plano XZ	Valores máximos de envolventes
XZ	Columnas	12	Pórtico más cargado del plano XZ	Valores máximos de envolventes
YZ	Vigas	6	Pórtico más cargado del plano YZ	Valores máximos de envolventes
YZ	Columnas	9	Pórtico más cargado del plano YZ	Valores máximos de envolventes
	Total	36		

Fuente: Elaboración propia a partir de la hoja comparativa generada por UNU STRUCT

Como se aprecia en la Tabla 4, la validación comparativa formal se estructuró a partir de 36 pares equivalentes de resultados entre UNU STRUCT y SAP2000, distribuidos en 21 pares del plano XZ y 15 pares del plano YZ. Estos pares correspondieron a elementos tipo viga y columna obtenidos desde los pórticos más cargados de cada plano, considerando valores máximos de envolventes, lo que permitió efectuar una contrastación cuantitativa y visual de la respuesta estructural generada por ambas plataformas.

Tabla 5. Resumen de variaciones promedio por plano en la validación comparativa

Plano	Número de pares	Variación promedio absoluta (%)
XZ	21	0.39
YZ	15	0.79

Fuente: Elaboración propia a partir de la hoja comparativa UNU STRUCT vs SAP2000

A partir de los pares comparados, se obtuvieron variaciones absolutas promedio aproximadas de 0.39 % en el plano XZ y 0.79 % en el plano YZ, evidenciando una alta concordancia entre los resultados generados por UNU STRUCT y SAP2000 dentro de la configuración estructural representativa seleccionada para validación. En consecuencia, la comparación documentada respalda la consistencia numérica del sistema desarrollado dentro del alcance funcional de la presente investigación.

Figura 3. Ejecución SAP2000 para verificación visual inmediata con notificación del porcentaje de variación entre ambos modelos

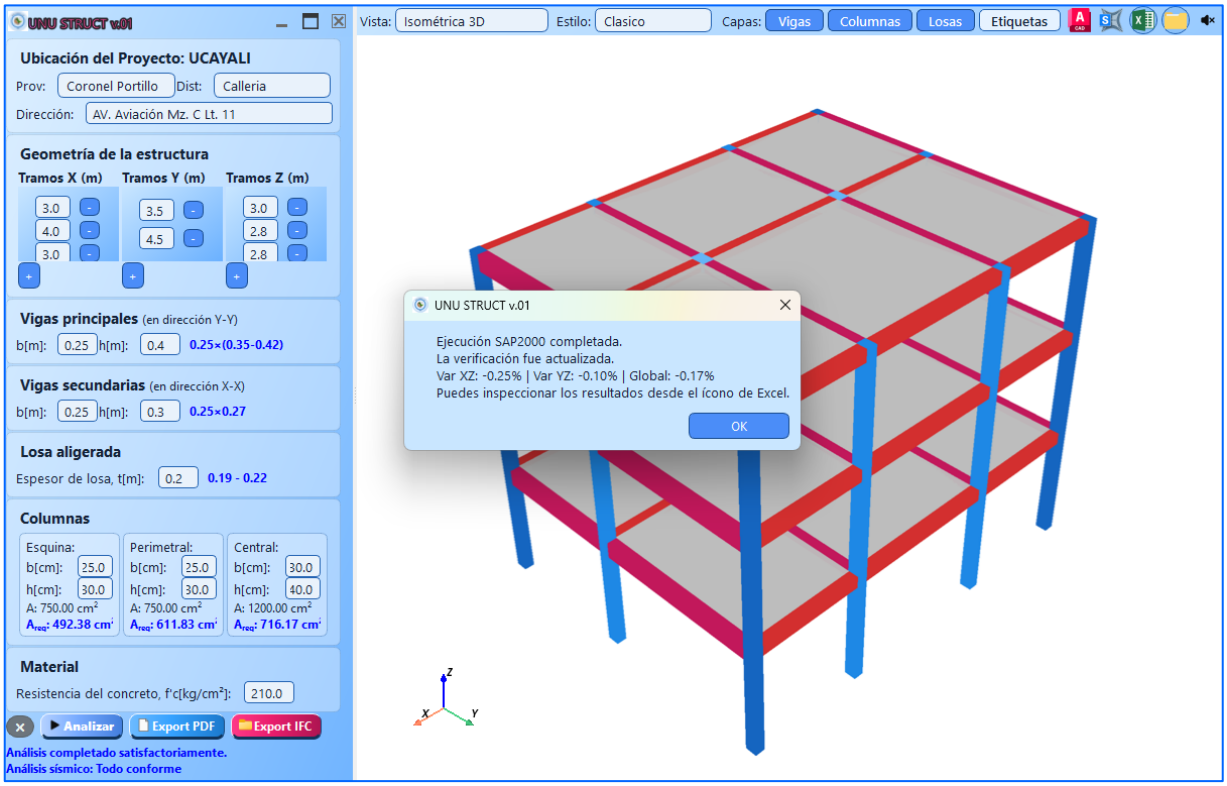


Figura 4. Comparación visual entre UNU STRUCT y SAP2000 en la revisión de resultados estructurarles

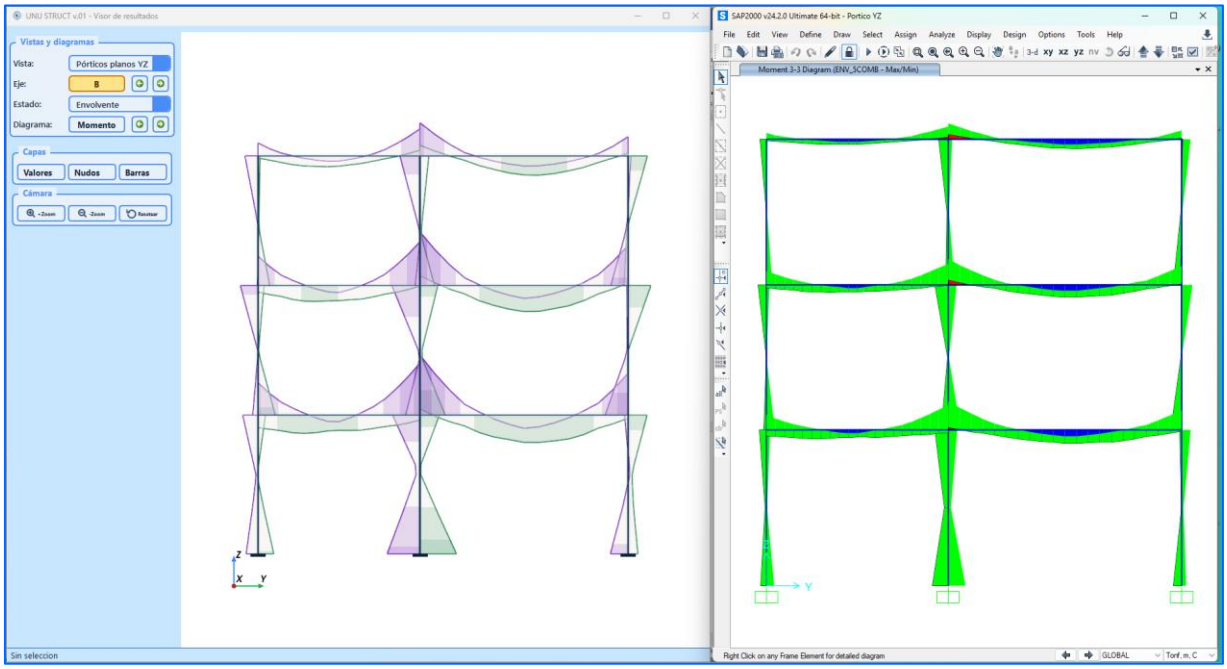
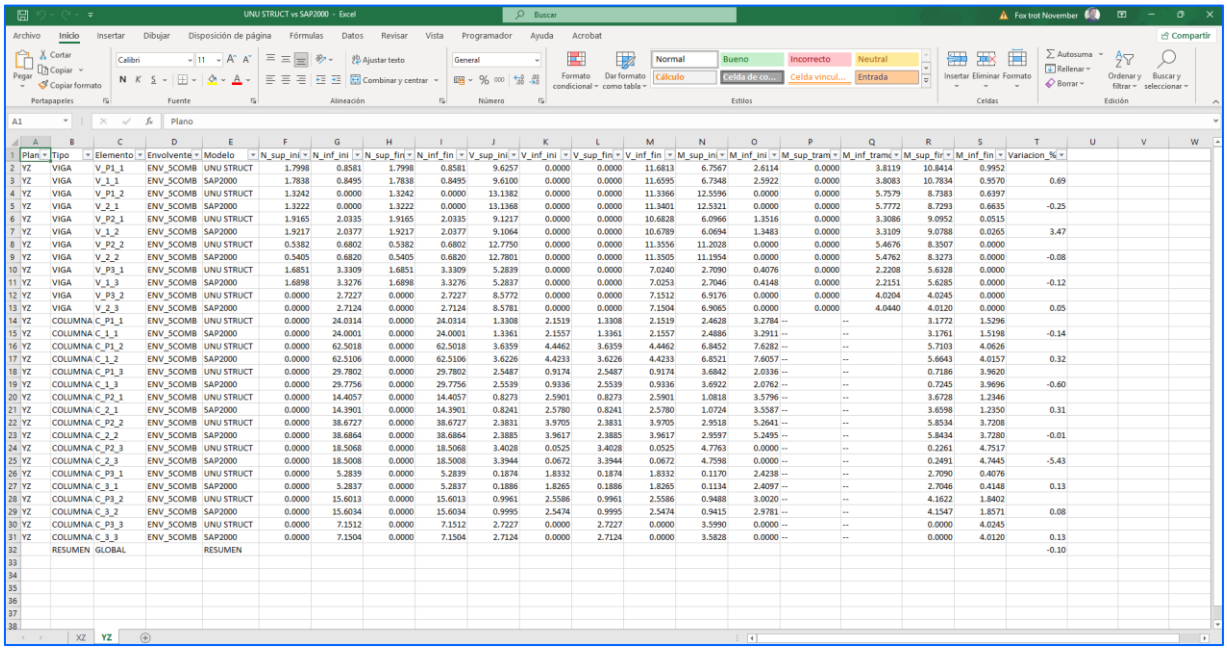


Figura 5. Comparación de resultados entre UNU STRUCT y SAP2000

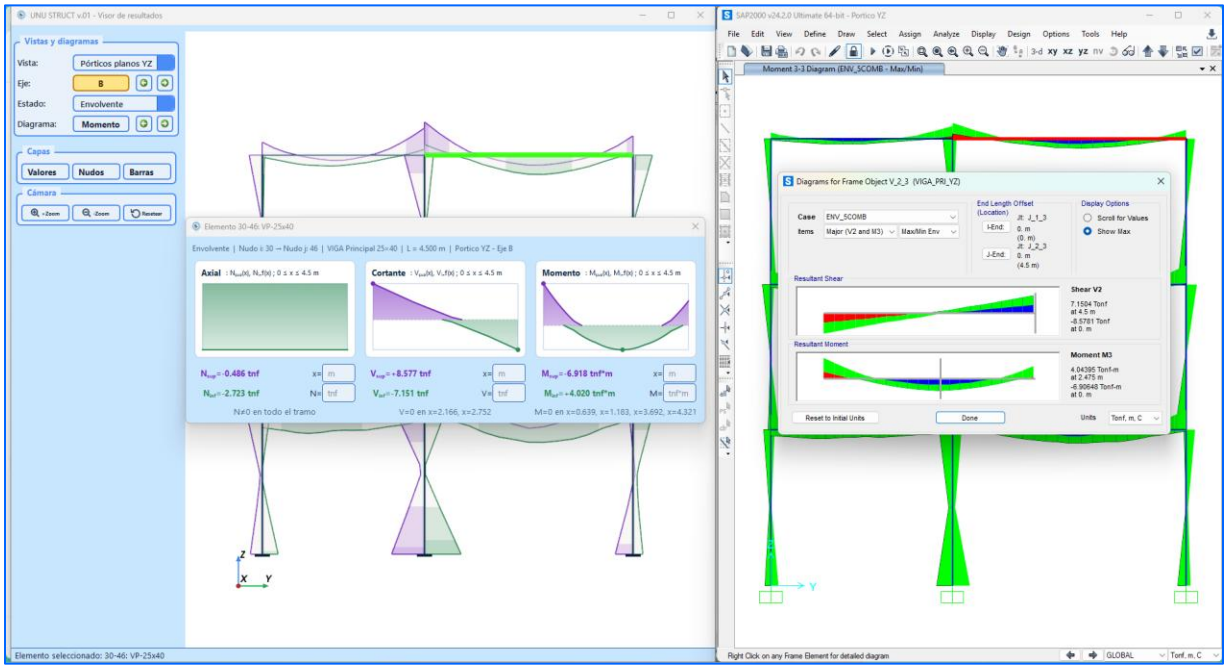


Plan	Tipo	Elemento	Envolvente	Modelo	N_sup_ini	N_inf_ini	N_sup_fin	N_inf_fin	V_sup_ini	V_inf_ini	V_sup_fin	V_inf_fin	M_sup_ini	M_inf_ini	M_sup_tram	M_inf_tram	M_sup_fin	M_inf_fin	Variacion_%
YZ	VIGA	V_P1_1	ENV_5COMB	UNU STRUCT	1.7998	0.8581	1.7998	0.8581	9.6257	0.0000	0.0000	11.6813	6.7567	2.6114	0.0000	3.8119	10.8414	0.9952	
YZ	VIGA	V_1_1	ENV_5COMB	SAP2000	1.7838	0.8495	1.7838	0.8495	9.6100	0.0000	0.0000	11.6595	6.7348	2.5922	0.0000	3.8083	10.7834	0.9570	0.69
YZ	VIGA	V_P1_2	ENV_5COMB	UNU STRUCT	1.3242	0.0000	1.3242	0.0000	13.1382	0.0000	0.0000	11.3366	12.5596	0.0000	0.0000	5.7579	8.7383	0.6397	
YZ	VIGA	V_2_1	ENV_5COMB	SAP2000	1.3222	0.0000	1.3222	0.0000	13.1368	0.0000	0.0000	11.3401	12.5321	0.0000	0.0000	5.7772	8.7293	0.6635	-0.25
YZ	VIGA	V_P2_1	ENV_5COMB	UNU STRUCT	1.9165	2.0335	1.9165	2.0335	9.1217	0.0000	0.0000	10.6828	6.0966	1.3516	0.0000	3.3086	9.0952	0.0515	
YZ	VIGA	V_1_2	ENV_5COMB	SAP2000	1.9217	2.0377	1.9217	2.0377	9.1064	0.0000	0.0000	10.6789	6.0694	1.3483	0.0000	3.3109	9.0788	0.0265	3.47
YZ	VIGA	V_P2_2	ENV_5COMB	UNU STRUCT	0.5382	0.6802	0.5382	0.6802	12.7750	0.0000	0.0000	11.3556	11.2028	0.0000	0.0000	5.4676	8.3507	0.0000	
YZ	VIGA	V_2_2	ENV_5COMB	SAP2000	0.5405	0.6820	0.5405	0.6820	12.7801	0.0000	0.0000	11.3505	11.1954	0.0000	0.0000	5.4762	8.3273	0.0000	-0.08
YZ	VIGA	V_P3_1	ENV_5COMB	UNU STRUCT	1.6851	3.3309	1.6851	3.3309	5.2839	0.0000	0.0000	7.0240	2.7090	0.4076	0.0000	2.2208	5.6328	0.0000	
YZ	VIGA	V_1_3	ENV_5COMB	SAP2000	1.6898	3.3276	1.6898	3.3276	5.2837	0.0000	0.0000	7.0253	2.7046	0.4148	0.0000	2.2151	5.6285	0.0000	-0.12
YZ	VIGA	V_P3_2	ENV_5COMB	UNU STRUCT	0.0000	2.7227	0.0000	2.7227	8.5772	0.0000	0.0000	7.1512	6.9176	0.0000	0.0000	4.0204	4.0245	0.0000	
YZ	VIGA	V_2_3	ENV_5COMB	SAP2000	0.0000	2.7124	0.0000	2.7124	8.5781	0.0000	0.0000	7.1504	6.9065	0.0000	0.0000	4.0440	4.0120	0.0000	0.05
YZ	COLUMNA	C_P1_1	ENV_5COMB	UNU STRUCT	0.0000	24.0314	0.0000	24.0314	1.3308	2.1519	1.3308	2.1519	2.4628	3.2784	--	--	3.1772	1.5296	
YZ	COLUMNA	C_1_1	ENV_5COMB	SAP2000	0.0000	24.0001	0.0000	24.0001	1.3361	2.1557	1.3361	2.1557	2.4886	3.2911	--	--	3.1761	1.5198	-0.14
YZ	COLUMNA	C_P1_2	ENV_5COMB	UNU STRUCT	0.0000	62.5018	0.0000	62.5018	3.6359	4.4462	3.6359	4.4462	6.8452	7.6282	--	--	5.7103	4.0626	
YZ	COLUMNA	C_1_2	ENV_5COMB	SAP2000	0.0000	62.5106	0.0000	62.5106	3.6226	4.4233	3.6226	4.4233	6.8521	7.6057	--	--	5.6643	4.0157	0.32
YZ	COLUMNA	C_P1_3	ENV_5COMB	UNU STRUCT	0.0000	29.7802	0.0000	29.7802	2.5487	0.9174	2.5487	0.9174	3.6842	2.0336	--	--	0.7186	3.9620	
YZ	COLUMNA	C_1_3	ENV_5COMB	SAP2000	0.0000	29.7756	0.0000	29.7756	2.5539	0.9336	2.5539	0.9336	3.6922	2.0762	--	--	0.7245	3.9696	-0.60
YZ	COLUMNA	C_P2_1	ENV_5COMB	UNU STRUCT	0.0000	14.4057	0.0000	14.4057	0.8273	2.5901	0.8273	2.5901	1.0818	3.5796	--	--	3.6728	1.2346	
YZ	COLUMNA	C_2_1	ENV_5COMB	SAP2000	0.0000	14.3901	0.0000	14.3901	0.8241	2.5780	0.8241	2.5780	1.0724	3.5587	--	--	3.6598	1.2350	0.31
YZ	COLUMNA	C_P2_2	ENV_5COMB	UNU STRUCT	0.0000	38.6727	0.0000	38.6727	2.3831	3.9705	2.3831	3.9705	2.9518	5.2641	--	--	5.8534	3.7208	
YZ	COLUMNA	C_2_2	ENV_5COMB	SAP2000	0.0000	38.6864	0.0000	38.6864	2.3885	3.9617	2.3885	3.9617	2.9597	5.2495	--	--	5.8434	3.7280	-0.01
YZ	COLUMNA	C_P2_3	ENV_5COMB	UNU STRUCT	0.0000	18.5068	0.0000	18.5068	3.4028	0.0525	3.4028	0.0525	4.7763	0.0000	--	--	0.2261	4.7517	
YZ	COLUMNA	C_2_3	ENV_5COMB	SAP2000	0.0000	18.5008	0.0000	18.5008	3.3944	0.0672	3.3944	0.0672	4.7598	0.0000	--	--	0.2491	4.7445	-5.43
YZ	COLUMNA	C_P3_1	ENV_5COMB	UNU STRUCT	0.0000	5.2839	0.0000	5.2839	0.1874	1.8332	0.1874	1.8332	0.1170	2.4238	--	--	2.7090	0.4076	
YZ	COLUMNA	C_3_1	ENV_5COMB	SAP2000	0.0000	5.2837	0.0000	5.2837	0.1886	1.8265	0.1886	1.8265	0.1134	2.4097	--	--	2.7046	0.4148	0.13
YZ	COLUMNA	C_P3_2	ENV_5COMB	UNU STRUCT	0.0000	15.6013	0.0000	15.6013	0.9961	2.5586	0.9961	2.5586	0.9488	3.0020	--	--	4.1622	1.8402	
YZ	COLUMNA	C_3_2	ENV_5COMB	SAP2000	0.0000	15.6034	0.0000	15.6034	0.9995	2.5474	0.9995	2.5474	0.9415	2.9781	--	--	4.1547	1.8571	0.08
YZ	COLUMNA	C_P3_3	ENV_5COMB	UNU STRUCT	0.0000	7.1512	0.0000	7.1512	2.7227	0.0000	2.7227	0.0000	3.5990	0.0000	--	--	0.0000	4.0245	
YZ	COLUMNA	C_3_3	ENV_5COMB	SAP2000	0.0000	7.1504	0.0000	7.1504	2.7124	0.0000	2.7124	0.0000	3.5828	0.0000	--	--	0.0000	4.0120	0.13
	RESUMEN	GLOBAL		RESUMEN															-0.10

De acuerdo con la validación comparativa formal efectuada sobre la configuración estructural representativa seleccionada, los pares equivalentes organizados entre UNU STRUCT y SAP2000 evidenciaron variaciones promedio bajas en los planos XZ y YZ, lo que respalda la alta concordancia entre ambas plataformas dentro del alcance funcional del sistema desarrollado. Esta validación no se limitó al contraste cuantitativo, sino que incluyó además una verificación visual simultánea entre el visor de resultados del sistema y los diagramas mostrados en SAP2000, permitiendo corroborar la correspondencia en la forma y magnitud de los esfuerzos internos y envolventes representados en ambos entornos.

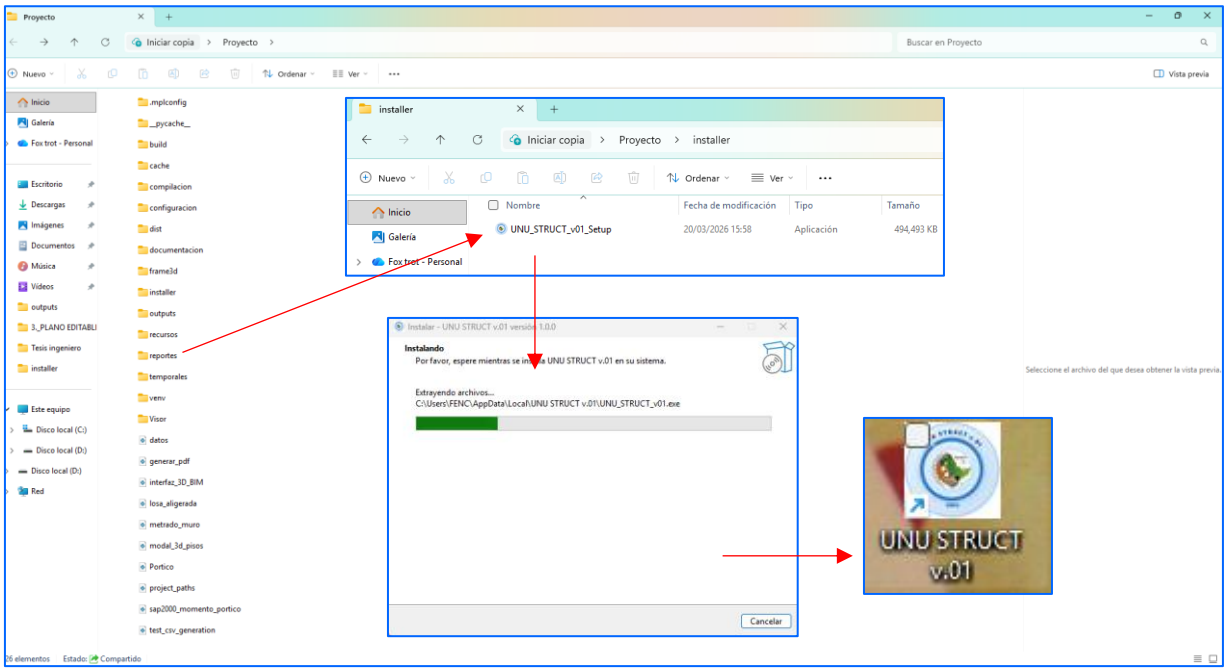
En cuanto a su implementación, el proyecto fue organizado en una estructura modular de archivos y carpetas que integran procesamiento estructural, generación de reportes, validación comparativa y visualización de resultados. Esta organización permitió consolidar el funcionamiento interno del software y facilitar su proceso de despliegue.

Figura 6. Comparación detallada de diagramas y esfuerzos entre UNU STRUCT y SAP2000



Posteriormente, el sistema fue convertido a archivo ejecutable y empaquetado mediante un instalador funcional, verificándose su instalación y ejecución en equipos compatibles con Windows. Este resultado demuestra que la investigación no se limitó al desarrollo interno en entorno de programación, sino que alcanzó una etapa de implementación operativa orientada al uso práctico del software.

Figura 7. Estructura modular del proyecto, archivos del sistema e instalador funcional de UNU STRUCT v.01



Adicionalmente, una vez concluido el análisis, el modelo puede ser exportado en formato .ifc, lo que constituye un resultado complementario de interoperabilidad BIM. Esta funcionalidad permite trasladar la representación del modelo estructural hacia entornos compatibles con dicho formato, facilitando su revisión externa y ampliando las posibilidades de integración con otros flujos de trabajo digitales. En el contexto de esta investigación, la exportación IFC representa una evidencia del potencial de continuidad y repotenciación del sistema para futuras investigaciones relacionadas con modelación, coordinación digital e integración BIM.

Figura 8. Visualización del modelo IFC en entorno compatible BIM

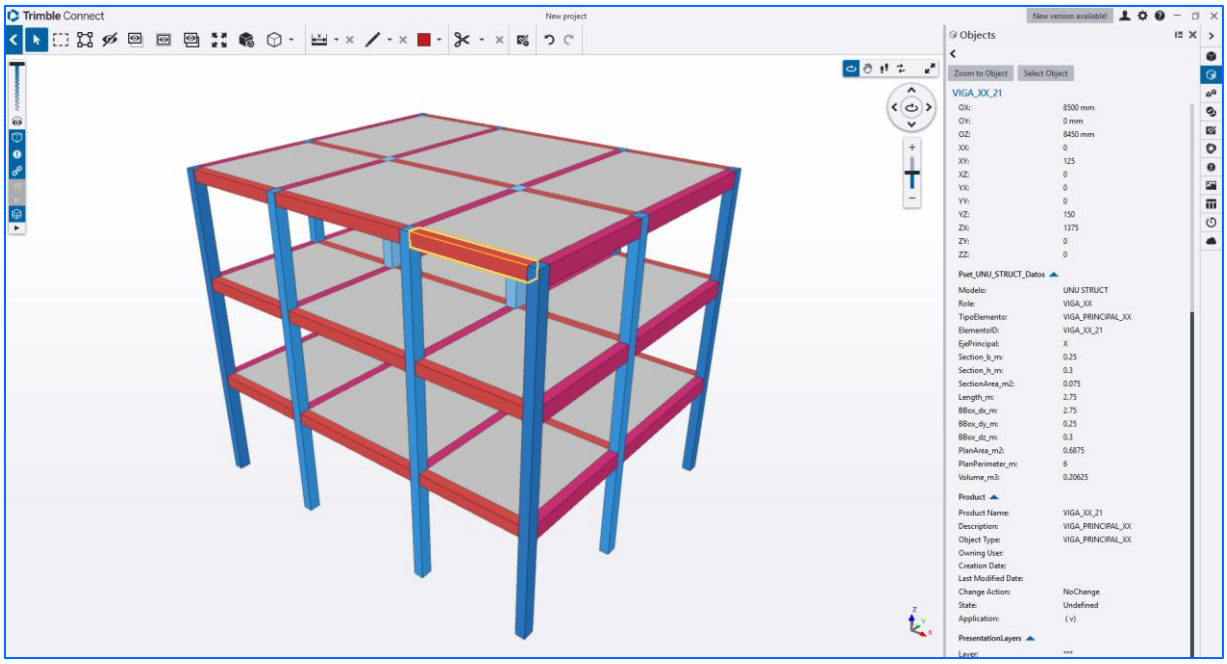


Figura 9. Exportación del modelo estructural en formato IFC desde UNU STRUCT

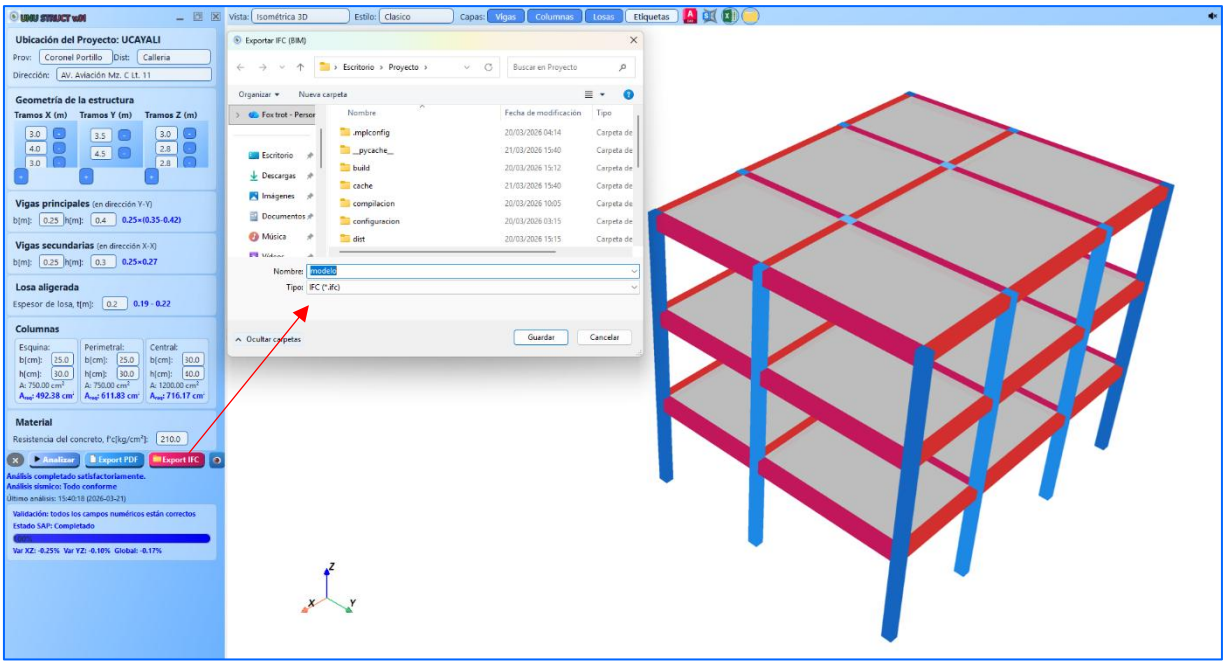


Tabla 6. Evidencias de implementación operativa e interoperabilidad del sistema desarrollado

Componente	Evidencia	Resultado
Organización modular del proyecto	Estructura de carpetas y archivos del sistema.	El software fue organizado en módulos funcionales para procesamiento, visualización, reportes y despliegue.
Archivo ejecutable	Generación del ejecutable del programa.	El sistema pudo ejecutarse fuera del entorno original de programación.
Instalador funcional	Proceso de instalación verificado mediante asistente de instalación.	Se comprobó la instalación del software en equipos compatibles con Windows.
Ejecución operativa del sistema	Apertura y funcionamiento del programa instalado.	Se verificó la ejecución práctica del software sin necesidad de configurar manualmente el entorno de desarrollo.
Integración con SAP2000	Botón de acceso directo una vez realizado el análisis.	Se logró abrir el modelo equivalente en SAP2000 para la validación comparativa de resultados.
Hoja comparativa en Excel	Archivo generado con resultados de UNU STRUCT y SAP2000.	Se cuantificó la variación porcentual entre ambas plataformas, obteniéndose diferencias menores al 1 %.
Exportación IFC	Opción de exportación del modelo en formato .ifc.	Se obtuvo interoperabilidad básica del modelo estructural en entorno BIM.
Visualización en entorno BIM	Apertura del archivo IFC en plataforma compatible.	Se verificó la lectura y revisión del modelo exportado en un entorno BIM externo.
Proyección de ampliación del sistema	Evidencia de funcionalidades complementarias implementadas.	Se identificó potencial para futuras investigaciones orientadas a integración BIM y ampliación del alcance del software.

Como síntesis del desarrollo alcanzado, el sistema no solo permite modelar y analizar configuraciones estructurales aplicables a viviendas, sino también generar reportes, validar resultados frente a SAP2000, ejecutar el software fuera del entorno original de programación y exportar el modelo en un formato interoperable. Estos resultados evidencian que el desarrollo alcanzado posee funcionalidad técnica, consistencia numérica y proyección tecnológica.

Tabla 7. Resumen de funcionalidades implementadas en UNU STRUCT v.01

Funcionalidad	Descripción	Resultado obtenido
Ingreso mínimo de datos	Permite definir la ubicación del proyecto, la geometría estructural, las secciones iniciales de vigas, columnas y losas, y la resistencia del concreto.	Se logró simplificar el ingreso de información requerida para el análisis estructural.
Parametrización geométrica	Permite variar tramos en X, Y y Z, así como alturas y disposición de elementos estructurales.	Se obtuvo flexibilidad para modelar distintas configuraciones geométricas aplicables a viviendas.
Generación del modelo 3D	Construye automáticamente la representación tridimensional de la estructura a partir de los datos ingresados.	Se logró visualizar la configuración estructural antes y después del análisis.
Asignación automática de parámetros sísmicos	Incorpora automáticamente los parámetros sísmicos según la provincia y distrito seleccionados en Ucayali.	Se redujo la necesidad de ingreso manual y se automatizó el procesamiento sísmico inicial.
Análisis sísmico-estructural	Ejecuta el procesamiento estructural del modelo y genera resultados globales y locales.	Se obtuvieron desplazamientos, derivas, cortantes, reacciones y esfuerzos internos envolventes.
Verificación previa del análisis sísmico	Emite mensajes de cumplimiento o incumplimiento antes de exportar la memoria de cálculo.	Se facilitó la detección oportuna de observaciones antes de emitir el reporte final.
Visor de resultados	Permite revisar gráficamente diagramas y resultados por elemento estructural.	Se mejoró la interpretación técnica del comportamiento global y local de la estructura.
Exportación de memoria de cálculo	Genera un documento técnico con los resultados del análisis desarrollado.	Se obtuvo una memoria estructurada para revisión y sustento del procesamiento realizado.
Compatibilización con SAP2000	Habilita el acceso al modelo equivalente en SAP2000 para la revisión comparativa.	Se permitió contrastar los resultados del software desarrollado con una plataforma especializada.
Hoja comparativa en Excel	Consolida resultados de UNU STRUCT y SAP2000 para calcular diferencias porcentuales.	Se verificó una variación menor al 1 % entre ambas plataformas.
Exportación en formato IFC	Permite exportar el modelo analizado en formato .ifc para interoperabilidad BIM.	Se obtuvo un archivo interoperable para su visualización y revisión en entornos BIM compatibles.

Elaboración propia

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Discusión del objetivo general

En relación con el objetivo general de la investigación, los resultados obtenidos permiten sostener que el modelo computacional desarrollado logró integrar, dentro de un mismo entorno de trabajo, el ingreso mínimo de datos, la asignación automática de parámetros sísmicos según ubicación, la ejecución del análisis matricial, la generación de resultados estructurales técnicamente interpretables y la validación comparativa con SAP2000. Este resultado constituye el aporte central del estudio, debido a que no se limita a automatizar una etapa aislada del procesamiento estructural, sino que articula modelación geométrica, análisis sísmico-estructural, revisión técnica, emisión de reportes y contrastación numérica y visual dentro de un flujo único de trabajo. En la tesis, esta integración quedó respaldada por 12 configuraciones funcionales documentadas, una validación comparativa formal sobre una configuración estructural representativa y 36 pares equivalentes contrastados con SAP2000.

Desde una perspectiva comparativa, este resultado se vincula con la tendencia actual de las herramientas computacionales orientadas a integrar modelación, análisis y revisión dentro de una misma plataforma. StrucPy.RCFA, por ejemplo, es un paquete abierto en Python para análisis de miembros y pórticos de concreto armado en 2D y 3D, con autogeneración de marcos y pisos y simplificación del ingreso de datos. StructPyn, por su parte, es una herramienta web para análisis pushover de marcos 2D de concreto armado basada en OpenSeesPy y diseñada para simplificar ese flujo de trabajo. Ávila et al. (2025) plantean una arquitectura conversacional con GPT-4, MCP y OpenSeesPy para modelación estructural 3D, mientras que Cabrera et al. (2025) automatizan el modelado

sísmico y análisis de un edificio alto mediante Python, ETABS y algoritmos genéticos. Frente a esos antecedentes, UNU STRUCT v.01 se diferencia por concentrar en una sola herramienta aplicada al contexto de viviendas en Ucayali el ingreso mínimo de datos, la automatización sísmica local, la memoria de cálculo, el visor de resultados, la validación directa con SAP2000, el instalador funcional y la exportación IFC.

No obstante, el análisis crítico también muestra que el presente estudio no supera a todos los antecedentes en todos los aspectos. StrucPy.RCFA reporta una coincidencia benchmark muy cerrada frente a STAAD Pro en su caso de referencia, mientras que Ávila et al. (2025) documentan una arquitectura de Human–AI Teaming con desviaciones generales menores al 1.5 % frente a soluciones de referencia y ciclos de análisis rápidos de 6 a 12 segundos. Asimismo, Cabrera et al. (2025) avanzan en automatización y optimización estructural para edificios altos, algo que no forma parte del alcance de UNU STRUCT v.01. En consecuencia, la principal fortaleza del presente estudio no radica en haber alcanzado la menor desviación numérica entre todos los antecedentes ni en incorporar análisis no lineal avanzado u optimización evolutiva, sino en haber logrado una integración funcional, aplicada y operativa de modelación, análisis, validación y despliegue del software dentro de una sola propuesta orientada a viviendas.

Discusión del objetivo específico 1: parametrización geométrica

En relación con el primer objetivo específico, los resultados obtenidos evidencian que UNU STRUCT v.01 logró parametrizar la geometría estructural de edificaciones de vivienda mediante la variación de tramos, alturas y disposición de elementos resistentes dentro de una configuración aporticada y reticular. Esta capacidad se reflejó en la verificación funcional documentada sobre 12 configuraciones estructurales

representativas, lo que demuestra que el sistema no quedó restringido a un caso único, sino que admite un rango geométrico compatible con el alcance propuesto para viviendas.

El antecedente más afín para contrastar este objetivo es StrucPy.RCFA, ya que también trabaja con marcos de concreto armado en 2D y 3D, incorpora autogeneración de marcos y pisos y busca simplificar el ingreso de datos para usuarios no especializados en programación. En ese sentido, ambos desarrollos coinciden en la orientación hacia modelación abierta y parametrizable. Sin embargo, el enfoque del presente estudio se diferencia porque UNU STRUCT v.01 no se plantea como un paquete programable para ser usado desde código, sino como una herramienta de uso más directo para el usuario estructural, articulada con memoria de cálculo, visor de resultados, validación con SAP2000, instalador funcional e interoperabilidad IFC. Por ello, puede afirmarse que UNU STRUCT v.01 supera a StrucPy.RCFA en integración operativa para usuario final, pero no alcanza todavía el nivel de benchmark de escalabilidad y validación multicapa que StrucPy.RCFA sí documenta.

También puede contrastarse este objetivo con Cabrera et al. (2025), quienes automatizan el modelado sísmico de un edificio alto regular de 17 niveles mediante Python y la API de ETABS. La diferencia principal es que su enfoque está orientado a automatización y optimización de un edificio alto de referencia, mientras que el presente estudio se centra en configuraciones geométricas razonables de vivienda y en un flujo más inmediato de modelación-análisis-validación. En consecuencia, UNU STRUCT v.01 aporta una mayor cercanía al uso práctico en el contexto de vivienda, pero no incorpora todavía optimización estructural basada en algoritmos genéticos.

Discusión del objetivo específico 2: automatización sísmica según ubicación

Respecto al segundo objetivo específico, la implementación de la asignación automática de parámetros sísmicos según ubicación dentro de Ucayali constituye uno de los aportes más diferenciadores del sistema, ya que reduce la intervención manual del usuario y mejora la continuidad del flujo de análisis. Dentro de la tesis, este resultado aparece como una funcionalidad central del modelo desarrollado y se relaciona directamente con la simplificación del ingreso de datos.

Aquí la diferencia con los antecedentes es importante. StrucPy.RCFA se plantea como un paquete abierto para análisis de marcos RC; StructPyn se orienta al análisis pushover 2D; Ávila et al. (2025) desarrollan una interfaz conversacional con MCP y OpenSeesPy; y Cabrera et al. automatizan el modelado sísmico en ETABS para un edificio alto. Sin embargo, en la información disponible de esos trabajos no aparece como eje principal una automatización sísmica territorializada y asociada a una región específica como Ucayali. En consecuencia, el presente estudio sí muestra una ventaja funcional aplicada en este punto, ya que vincula selección geográfica y procesamiento sísmico dentro de un entorno directo para el usuario. Aun así, esa ventaja tiene un límite claro: la automatización implementada todavía se encuentra restringida al ámbito territorial de Ucayali y no se ha extendido a otras regiones del país.

Discusión del objetivo específico 3: ejecución del análisis y generación de salidas técnicas

En cuanto al tercer objetivo específico, los resultados muestran que UNU STRUCT v.01 permite ejecutar el análisis sísmico-estructural y generar salidas técnicas como desplazamientos, derivas, cortantes, reacciones y esfuerzos internos envolventes, además de una memoria de cálculo y un visor gráfico para la revisión del comportamiento

estructural. Este conjunto de salidas refuerza la utilidad del sistema no solo como motor de cálculo, sino como herramienta de interpretación técnica.

El contraste más útil aquí es con StructPyn, porque ambos desarrollos buscan acercar el análisis estructural al usuario mediante una interfaz más accesible. No obstante, el enfoque de StructPyn está concentrado en el análisis pushover no lineal de marcos 2D y en la generación de curvas de capacidad, mientras que UNU STRUCT v.01 se orienta al análisis matricial sísmico-estructural con memoria de cálculo, visor de resultados, alertas previas y validación con SAP2000. La información públicamente disponible de StructPyn no muestra un porcentaje de validación explícito comparable con el del presente estudio, por lo que la comparación correcta no es numérica, sino funcional y de alcance. En ese sentido, UNU STRUCT v.01 ofrece un entorno más integral para análisis, reporte y contraste técnico, pero no incorpora aún el análisis pushover no lineal que sí constituye el núcleo de StructPyn.

Este objetivo también puede contrastarse con Ávila et al. (2025), quienes integran modelación estructural 3D a partir de prompts en lenguaje natural mediante GPT-4 + MCP + OpenSeesPy. Ese antecedente representa un avance importante en accesibilidad conversacional, trazabilidad y análisis rápido, con ciclos de 6 a 12 segundos y desviaciones generales menores al 1.5 % frente a soluciones de referencia. Frente a ello, UNU STRUCT v.01 no incorpora una arquitectura de interacción conversacional ni teaming humano-IA, pero sí ofrece un flujo más cerrado, especializado y directamente utilizable para el análisis de viviendas dentro del contexto regional definido.

Discusión del objetivo específico 4: validación comparativa con SAP2000

En relación con el cuarto objetivo específico, la validación comparativa formal documentada en la tesis permitió contrastar 36 pares equivalentes de resultados entre UNU STRUCT y SAP2000 en los planos XZ y YZ, obteniéndose variaciones promedio absolutas de 0.39 % y 0.79 %, respectivamente. Estos resultados evidencian una alta concordancia técnica entre ambas plataformas dentro de la configuración estructural representativa seleccionada, y constituyen la evidencia más fuerte de confiabilidad del sistema desarrollado dentro del alcance funcional del estudio.

Desde una perspectiva comparativa, este resultado puede ponerse frente a Ávila et al. (2025), quienes reportan que su framework GPT+MCP presenta desviaciones generales menores al 1.5 % respecto de soluciones de referencia, y además errores relativos por debajo de 0.03 % frente a ETABS en ciertas métricas de cortante basal. Frente a ese antecedente, la validación de UNU STRUCT v.01 se ubica dentro de un rango competitivo de concordancia técnica, pero no debe afirmarse que lo supera globalmente, porque cambian el flujo de modelación, el referente de comparación, el tipo de casos y la propia naturaleza de la herramienta. Lo correcto es decir que el presente estudio muestra una validación sólida y técnicamente consistente frente a SAP2000 dentro del uso previsto.

La comparación con StrucPy.RCFA es todavía más exigente, porque ese trabajo reporta en su benchmark frente a STAAD Pro valores prácticamente idénticos en período, aceleración sísmica, peso sísmico y cortante basal: 0.9613958 s vs 0.9614000 s, 0.0565844 vs 0.0566000, 14976.00 kN vs 14976.00 kN y 847.4079 kN vs 847.4100 kN, además de un error global inferior al 0.01 % y baja sensibilidad al aumento de complejidad, con variación del error por debajo de 0.2 y un tiempo de 84.26 s para un marco de 1070 elementos. Desde una lectura crítica, esto significa que StrucPy.RCFA

documenta una coincidencia benchmark más cerrada y una validación de escalabilidad más amplia que la presentada en esta tesis. Sin embargo, también debe reconocerse que StrucPy.RCFA es un paquete abierto para análisis de marcos RC, mientras que UNU STRUCT v.01 se presenta como una herramienta integrada para usuario final, con GUI, memoria, visor, instalador, SAP2000 e IFC. Por tanto, el presente estudio no alcanza ese mismo nivel de benchmark numérico y de escalabilidad documentada, pero sí aporta una validación aplicada y operativa dentro de un entorno de uso más integrado.

Limitaciones reconocidas del sistema UNU STRUCT v.01

A pesar de los resultados obtenidos, el sistema UNU STRUCT v.01 presenta limitaciones que deben ser reconocidas explícitamente. En primer lugar, la validación comparativa formal documentada en la tesis se sustentó en una configuración estructural representativa y en 36 pares equivalentes de resultados, por lo que la evidencia presentada respalda la confiabilidad técnica del modelo dentro del alcance funcional del estudio, pero no constituye una generalización estadística a toda posible configuración geométrica. En segundo lugar, el alcance actual del sistema se restringe a edificaciones de vivienda y a la automatización de parámetros sísmicos según ubicación dentro de Ucayali, por lo que su aplicabilidad territorial y tipológica aún es limitada. En tercer lugar, el desarrollo no documenta análisis no lineales tipo pushover, optimización estructural avanzada ni interacción conversacional con inteligencia artificial, aspectos que sí aparecen en antecedentes recientes como StructPyn, Cabrera et al. (2025) y Ávila et al. (2025). Finalmente, aunque la exportación IFC y la implementación operativa amplían el valor aplicado del sistema, la interoperabilidad alcanzada todavía debe entenderse como básica y susceptible de ampliación en investigaciones posteriores.

Síntesis crítica de la discusión

En conjunto, la discusión evidencia que UNU STRUCT v.01 se ubica dentro de la línea contemporánea de herramientas computacionales orientadas a simplificar la modelación, automatizar el análisis y mejorar la accesibilidad del procesamiento estructural. Su principal fortaleza no radica en haber alcanzado la menor diferencia numérica reportada entre todos los antecedentes, ni en incorporar el análisis no lineal más avanzado o la automatización optimizada más compleja, sino en haber integrado, dentro de una sola herramienta aplicada al contexto de viviendas en Ucayali, el ingreso mínimo de datos, la parametrización geométrica, la automatización sísmica regional, la ejecución del análisis, la memoria técnica, el visor de resultados, la validación comparativa con SAP2000, la implementación operativa y la interoperabilidad básica en formato IFC. Por ello, el aporte del estudio debe entenderse como una contribución aplicada, funcional y técnicamente consistente, con ventajas claras en integración operativa, pero también con márgenes de crecimiento frente a antecedentes que avanzan en validación benchmark de mayor precisión, análisis no lineal, optimización estructural y teaming humano-IA.

Tabla 8. Comparación crítica entre UNU STRUCT v.01 y antecedentes afines

Antecedente	Tipo de herramienta	Alcance principal	Métrica o evidencia reportada	Diferencia principal respecto a UNU STRUCT v.01
Izhar et al. (2024) – StrucPy.RCFA	Paquete abierto en Python	Análisis RC 2D/3D, autogeneración de marcos y pisos	Benchmark frente a STAAD Pro con coincidencia muy alta; error global < 0.01 %; baja sensibilidad al aumento de complejidad	UNU STRUCT ofrece más integración operativa para usuario final, pero no documenta aún benchmark de escalabilidad tan amplio.
Arroyo et al. (2025) – StructPyn	Herramienta web basada en OpenSeesPy	Pushover no lineal 2D de marcos RC	Interfaz amigable y flujo simplificado para curvas de capacidad; sin porcentaje comparable explícito en la fuente consultada.	UNU STRUCT integra análisis matricial, memoria, visor y validación con SAP2000, pero no incorpora pushover no lineal.
Ávila et al. (2025)	GPT-4 + MCP + OpenSeesPy	Modelación estructural 3D conversacional	Desviaciones < 1.5 %; errores < 0.03 % en ciertas métricas frente a ETABS; ciclos de 6–12 s	UNU STRUCT no tiene interacción conversacional, pero ofrece flujo técnico cerrado y especializado para viviendas.
Cabrera et al. (2025)	Python + API ETABS + algoritmo genético	Automatización y optimización del modelado sísmico y análisis de un edificio alto de concreto armado	$R^2 = 0.995$ en análisis estático, RMSE = 1.93261×10^{-5}; 99.5 % de reducción del tiempo frente al método tradicional	UNU STRUCT v.01 está orientado a vivienda y uso aplicado directo, pero no incorpora optimización genética.

Fuente: Elaboración propia con base en Izhar et al. (2024), Arroyo et al. (2025), Ávila et al. (2025) y Cabrera et al. (2025).

CONCLUSIONES

- En relación con el objetivo general de la investigación, se desarrolló un modelo computacional para el análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas en Ucayali, integrando el ingreso mínimo de datos, la asignación automática de parámetros sísmicos según ubicación, la obtención de resultados estructurales técnicamente interpretables y su validación comparativa con SAP2000. Asimismo, como resultado complementario del desarrollo alcanzado, el sistema evidenció un nivel de madurez tecnológica mediante su implementación operativa con archivo ejecutable e instalador funcional, e incorporó la exportación del modelo en formato IFC, lo que amplía su potencial de interoperabilidad y de futuras aplicaciones dentro de entornos BIM abiertos.
- En relación con el primer objetivo específico, se logró desarrollar un esquema de modelación computacional que permite parametrizar la geometría estructural mediante la variación de tramos, alturas y disposición de elementos resistentes dentro de una configuración aporticada y reticular. Esto demuestra que el modelo no quedó restringido a una sola edificación, sino que admite configuraciones geométricas razonables aplicables a viviendas, en concordancia con las tendencias actuales de modelación estructural abierta y parametrizable.
- Respecto al segundo objetivo específico, se implementó satisfactoriamente la asignación automática de parámetros sísmicos según la ubicación seleccionada dentro del departamento de Ucayali, lo que redujo la intervención manual del usuario y mejoró la continuidad del flujo de análisis. Este hallazgo guarda coherencia con la necesidad de sustentar el análisis sísmico en parámetros reglamentarios consistentes.

- En cuanto al tercer objetivo específico, el modelo computacional permitió ejecutar el análisis sísmico y estructural de las configuraciones evaluadas, generando resultados como desplazamientos, derivas, cortantes, reacciones y esfuerzos internos envolventes, además de una memoria técnica y un visor gráfico para la revisión del comportamiento estructural. Este resultado confirma que el sistema produce salidas técnicamente útiles para la interpretación global y local del comportamiento resistente.
- En relación con el cuarto objetivo específico, se incorporó un procedimiento de validación y compatibilización de resultados con SAP2000 mediante acceso directo al modelo equivalente y una hoja de cálculo comparativa en Excel. La validación formal documentada sobre una configuración estructural representativa permitió contrastar 36 pares equivalentes de resultados en los planos XZ y YZ, evidenciando una alta concordancia entre ambas plataformas y reforzando la confiabilidad técnica del modelo computacional desarrollado dentro del alcance funcional del estudio.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar el desarrollo del modelo computacional con el fin de consolidar su validación técnica, ampliar sus capacidades de análisis y fortalecer su proyección como herramienta aplicada para la ingeniería estructural de edificaciones de vivienda. Asimismo, se recomienda aprovechar la implementación operativa alcanzada y la exportación en formato IFC para impulsar futuras investigaciones relacionadas con interoperabilidad BIM, coordinación digital y ampliación funcional del sistema.
- En relación con la parametrización geométrica, se recomienda ampliar el rango de configuraciones estructurales evaluadas, incorporando más combinaciones de tramos, niveles y disposiciones resistentes, a fin de fortalecer la robustez del modelo frente a una mayor diversidad de casos de vivienda y mejorar su capacidad de representación geométrica.
- En relación con la automatización sísmica, se recomienda extender progresivamente la base de parámetros sísmicos hacia otros ámbitos territoriales además de Ucayali, de manera que el modelo computacional pueda ampliar su aplicabilidad geográfica manteniendo consistencia con la normativa sismorresistente peruana vigente.
- En relación con la ejecución del análisis estructural, se recomienda incorporar en futuras investigaciones nuevas rutinas de evaluación, combinaciones de carga, mejoras en la presentación de resultados y opciones adicionales de revisión gráfica, con el propósito de enriquecer la interpretación técnica del sistema y ampliar el alcance del análisis matricial desarrollado.
- En relación con la validación comparativa, se recomienda profundizar el contraste con SAP2000 empleando un mayor número de configuraciones estructurales y una muestra más amplia de resultados globales y locales, reportando no solo variaciones promedio, sino

también análisis específicos de los casos con mayores diferencias, a fin de fortalecer aún más la trazabilidad y credibilidad del modelo computacional.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anticona Latorre, J. S., & Valencia Santillan, B. H. (2024). *Aplicación de OpenSees en el análisis no lineal de una estructura de concreto armado con sistema aporticado de 5 niveles* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV.

Apaza Chino, W. (2024). *Diseño estructural automatizado y paramétrico de viviendas de bajo costo, mediante el uso de algoritmos de programación visual, Cusco – Perú, 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional UNSAAC.

Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. *Revista Alergia México, 63*(2), 201–206.

Arroyo, O., Novoa, D., & Montes, C. (2025). *StructPyn: A browser-based pushover analysis tool for reinforced concrete frames*. *SoftwareX, 32*, Article 102455. doi:10.1016/j.softx.2025.102455

Avila, C., Ilbay, D., & Rivera, D. (2025). *Human–AI Teaming in structural analysis: A Model Context Protocol approach for explainable and accurate generative AI*. *Buildings, 15*(17), 3190. https://doi.org/10.3390/buildings15173190

Bartra Rengifo, R., & Diaz Puyo, E. (2024). *Análisis y evaluación de las estructuras curvas ejecutadas con acero corrugado ASTM A615 no soldable de las instituciones educativas públicas del nivel secundario del distrito de Callería, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional UNU.

Cabrera, P. A., Medina, G. M., & Delgadillo, R. M. (2025). *Automation and genetic algorithm optimization for seismic modeling and analysis of tall RC buildings*. *Buildings, 15*(19), 3618. https://doi.org/10.3390/buildings15193618

Canales Ponce, G. L. (2025). *Análisis funcional del reforzamiento estructural con FRP y encamisado de concreto armado para la reparación de vigas fatigadas en edificaciones residenciales, Pucallpa 2024* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional UNU.

Computers and Structures, Inc. (s. f.). *SAP2000 | Structural analysis and design*. https://www.csiamerica.com/products/sap2000

Gonzales Bocanegra, V. H., & Gutierrez Vasquez, J. D. (2024). *Análisis y evaluación de la vulnerabilidad del riesgo sísmico de las viviendas en el distrito de Calleria, provincia de Coronel Portillo del departamento de Ucayali, 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional UNU.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Education.

Hossan, D., Dato' Mansor, Z., & Jaharuddin, N. S. (2023). Research population and sampling in quantitative study. *International Journal of Business and Technopreneurship, 13*(3), 209–222. https://doi.org/10.58915/ijbt.v13i3.263

Izhar, T., Ahmad, S. A., Ahmed, T., & Mumtaz, N. (2024). *StrucPy.RCFA- Object-Oriented Python Package for Structural Analysis of Reinforced Concrete Frames*. *Journal of Open Research Software, 12*(1), 10. https://doi.org/10.5334/jors.489

Krzywanski, J., Sosnowski, M., Grabowska, K., Zylka, A., Lasek, L., & Kijo-Kleczkowska, A. (2024). *Advanced computational methods for modeling, prediction and optimization—A review*. *Materials, 17*(14), 3521. https://doi.org/10.3390/ma17143521

Mamani Apaza, M. L., & Alania Leon, W. V. (2025). *Análisis dinámico ante sismos no impulsivos de una edificación de concreto armado de 6 niveles con sistema de muros*

mediante OpenSeesPy, Tacna 2025 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio Institucional UNJBG.

Mendez Merino, L. A., & Olivares Crisologo, E. A. (2024). *Análisis dinámico de una estructura de concreto armado de 4 niveles de sistema aporticado con la aplicación del software OpenSees* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio UCV.

Microsoft. (2024, April 30). *MSIX Packaging Tool overview*. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/en-us/windows/msix/packaging-tool/tool-overview

Microsoft. (2025, October 28). *.NET application publishing overview*. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/en-us/dotnet/core/deploying/

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *Norma técnica E.060: Concreto armado*. En *Reglamento Nacional de Edificaciones* (Decreto Supremo N.° 010-2009-VIVIENDA). Gobierno del Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). *Norma técnica E.030: Diseño sismorresistente* (Resolución Ministerial N.° 043-2019-VIVIENDA). En *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Gobierno del Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2024). Resolución Ministerial N.° 379-2024-VIVIENDA. Plataforma del Estado Peruano. https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/6064156-379-2024-vivienda

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2025). *Resolución Ministerial N.° 279-2025-VIVIENDA*. Gobierno del Perú.

Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology, 35*(1), 227–232. https://doi.org/10.4067/S0717-9502201700010003

Pérez-Guerrero, E. E., Guillén-Medina, M. R., Márquez-Sandoval, F., Vera-Cruz, J. M., Gallegos-Arreola, M. P., Rico-Méndez, M. A., Aguilar-Velázquez, J. A., & Gutiérrez-Hurtado, I. A. (2024). Methodological and statistical considerations for cross-sectional, case–control, and cohort studies. Journal of Clinical Medicine, 13(14), 4005. https://doi.org/10.3390/jcm13144005

Plevris, V., & Ahmad, A. (2025). *Deriving analytical solutions using symbolic matrix structural analysis for continuous beams*. *Scientific Reports*. https://doi.org/10.1038/s41598-025-97851-4

Plevris, V., Georgioudakis, M., & Kioumarsi, M. (2025). *Computational methods in structural engineering: Current advances and future perspectives*. *Computation, 13*(9), 224. https://doi.org/10.3390/computation13090224

Rodriguez Rios, J. O., Urrea Valdivia, C. E., & Rafael Lean, F. (2024). *Análisis de vulnerabilidad sísmica y propuesta de diseño de los elementos estructurales en las edificaciones de la Universidad Nacional de Ucayali* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional UNU.

Rossi, L., & Winands, M. H. M. (2025). *Automating the static and seismic design of 2-D multistorey reinforced concrete structures by using Monte Carlo Tree Search and Genetic Algorithm*. *AI in Civil Engineering, 4*, Article 24. doi:10.1007/s43503-025-00073-7

Sáenz Gamboa, K. P., & Saldaña Seopa, M. P. (2023). *Análisis comparativo de los sistemas estructurales de muros de ductilidad limitada y albañilería confinada de una vivienda*

multifamiliar de cinco niveles en el distrito de Callería – Coronel Portillo – Ucayali – 2021 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional UNU.

Slater, P., & Hasson, F. (2025). Quantitative research designs, hierarchy of evidence and validity. Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing, 32(3), 656–660. https://doi.org/10.1111/jpm.13135

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2021). *Regional Assessment Report on Disaster Risk in Latin America and the Caribbean (RAR 2021), distilled version*. https://www.undrr.org/regional-assessment-report-disaster-risk-latin-america-and-caribbean

Willie, M. M. (2024). Population and target population in research methodology. *Golden Ratio of Social Science and Education, 4*(1), 75–79. https://doi.org/10.52970/grsse.v4i1.405

Yeo, D. H. (2020). *A summary of industrial verification, validation, and uncertainty quantification procedures in computational fluid dynamics* (NIST IR 8298). National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8298

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	VARIABLE DE ESTUDIO	DIMENSIONES E INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL ¿Cómo desarrollar un modelo computacional para el análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares en viviendas de Ucayali? **PROBLEMAS ESPECÍFICOS** 1. ¿Cómo parametrizar geométricamente edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas en Ucayali? 2. ¿Cómo automatizar la asignación de parámetros sísmicos según la ubicación seleccionada? 3. ¿Cómo ejecutar el análisis matricial y obtener resultados estructurales técnicamente interpretables en edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas? 4. ¿Cómo validar comparativamente los resultados del modelo computacional con SAP2000?	**OBJETIVO GENERAL** Desarrollar un modelo computacional para el análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares en viviendas de Ucayali. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS** 1. Parametrizar geométricamente edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas en Ucayali. 2. Automatizar la asignación de parámetros sísmicos según la ubicación seleccionada. 3. Ejecutar el análisis matricial y obtener resultados estructurales técnicamente interpretables en edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas. 4. Validar comparativamente los resultados del modelo computacional con SAP2000.	**VI: Modelo computacional.** **VD: Análisis matricial de edificaciones aporticadas y reticulares en viviendas de Ucayali.**	**VI – Dimensiones:** • Parametrización geométrica. • Propiedades mecánicas. • Automatización sísmica. • Verificación previa. • Validación comparativa. • Generación de salidas. **VI – Indicadores:** Tramos X, Y y Z; secciones iniciales; f'c; ubicación; parámetros sísmicos automáticos; estado del análisis sísmico; memoria de cálculo; visor de resultados; acceso a SAP2000; hoja comparativa en Excel. **VD – Dimensiones:** • Respuesta global. • Respuesta local. • Evaluación estructural. **VD – Indicadores:** Desplazamiento máximo; deriva por nivel; cortante basal; reacciones de apoyo; axial envolvente; corte envolvente; momento flector envolvente; variación porcentual frente a SAP2000.	Método: Científico. Tipo: Aplicada. Nivel: Descriptivo. Diseño: No experimental, transeccional descriptivo. Población: configuraciones geométricas razonables de edificaciones aporticadas y reticulares aplicables a viviendas en Ucayali. Muestra: 12 configuraciones estructurales representativas empleadas en verificación funcional documentada durante la etapa final de desarrollo del sistema y una configuración estructural representativa seleccionada intencionalmente para la validación comparativa formal con SAP2000. Técnicas: observación técnica directa, revisión documental y prueba funcional del sistema. Instrumentos: modelo computacional, memoria de cálculo, visor de resultados, SAP2000 y hoja comparativa en Excel. Tratamiento: Ingreso básico de datos; análisis sísmico-estructural; selección de una configuración estructural representativa para validación comparativa formal; organización de 36 pares equivalentes de resultados en los planos XZ y YZ; comparación numérica y visual con SAP2000; verificación de variaciones porcentuales.

Anexo 2. Pseudocódigo general del modelo computacional

PSEUDOCODIGO GENERAL - UNU STRUCT v.01

Documento de apoyo para tesis que resume, en forma de pseudocodigo, el funcionamiento general del sistema UNU STRUCT v.01 para modelado, analisis estructural, verificacion sismica, visor de resultados y generacion de entregables.

Documento	Pseudocodigo del sistema
Aplicacion	UNU STRUCT v.01
Uso	Sustento metodologico y descripcion algoritmica para tesis
Fecha	Abril 2026

Alcance: *el presente pseudocodigo resume la logica del proyecto. No busca reemplazar al codigo fuente, sino mostrar de forma clara la secuencia logica del sistema para fines de comprension, exposicion y defensa de tesis.*

1. Convenciones del pseudocodigo

Para facilitar la lectura academica, se usan las siguientes convenciones:

- **PROCEDIMIENTO**: define un bloque principal de ejecucion.
- **FUNCION**: devuelve un valor o estado calculado.
- **SI ... ENTONCES ... SINO**: representa decisiones del flujo.
- **PARA CADA**: representa iteraciones sobre elementos o ejes.
- **LLAMAR**: representa invocacion de un modulo o subproceso.
- **RETORNAR**: devuelve el resultado del bloque.

2. Pseudocodigo general del sistema

El siguiente bloque resume el flujo general desde la apertura de la interfaz hasta la generacion de resultados y entregables.

```
PROCEDIMIENTO SISTEMA_UNU_STRUCT()
    INICIAR aplicacion_grafica
    CARGAR recursos visuales, logos, iconos y configuracion
    CONSTRUIR interfaz principal
    MOSTRAR panel de datos y area de modelo 3D

    MIENTRAS la aplicacion este abierta HACER
        ESPERAR accion del usuario

        SI el usuario modifica datos ENTONCES
            VALIDAR campos numericos y geometricos
            ACTUALIZAR recomendaciones de predimensionamiento
            GUARDAR estado actual en datos_runtime
        FIN SI
```

```
            SI el usuario pulsa Analizar ENTONCES
                LLAMAR FLUJO_ANALISIS()
            FIN SI

            SI el usuario pulsa Export PDF ENTONCES
                LLAMAR FLUJO_EXPORTACION_PDF()
            FIN SI

            SI el usuario pulsa Visor ENTONCES
                LLAMAR FLUJO_VISOR_3D()
            FIN SI

            SI el usuario pulsa SAP2000 ENTONCES
                LLAMAR FLUJO_VERIFICACION_SAP2000()
            FIN SI
        FIN MIENTRAS

        CERRAR aplicacion
    FIN PROCEDIMIENTO
```

3. Captura, validacion y persistencia de datos

Antes del analisis, el sistema debe validar la consistencia minima del modelo y persistir la configuracion activa.

```
    PROCEDIMIENTO VALIDAR_Y_GUARDAR_DATOS()
        LEER provincia, distrito, direccion
        LEER tramos en X, Y y Z
        LEER dimensiones de vigas, losa, columnas y material

        PARA CADA campo numerico HACER
            SI el valor esta vacio O no es valido ENTONCES
                MARCAR campo con alerta visual
                REGISTRAR error de validacion
            SINO
                APLICAR limites minimos y valores permitidos
            FIN SI
        FIN PARA

        SI existen errores de validacion ENTONCES
            MOSTRAR mensaje al usuario
            CANCELAR continuacion del analisis
        FIN SI

        CALCULAR recomendaciones de predimensionamiento
        ARMAR snapshot de datos actuales
        ESCRIBIR datos.py en datos_runtime
    FIN PROCEDIMIENTO
```

4. Analisis estructural principal

El analisis es el nucleo del sistema. A partir de los datos validados se ejecuta el motor estructural, se generan resultados y se habilitan herramientas posteriores.

```
PROCEDIMIENTO FLUJO_ANALISIS()
    LLAMAR VALIDAR_Y_GUARDAR_DATOS()
    MOSTRAR barra de progreso y estado de analisis
    OCULTAR temporalmente botones dependientes de resultados

    DEFINIR modo_analisis <- rapido o completo
    DEFINIR incluir_muros <- segun estado del boton de muros
    CONSTRUIR entorno de ejecucion

    EJECUTAR generar_pdf.py como subproceso controlado

    MIENTRAS el subproceso siga activo HACER
        LEER caches de progreso
        ACTUALIZAR porcentaje y mensaje en interfaz
    FIN MIENTRAS

    SI el subproceso termina correctamente Y hay salidas validas ENTONCES
        LEER resumen sismico desde caches
        MOSTRAR mensaje final del analisis sismico
        MOSTRAR boton del visor
        MOSTRAR icono SAP2000 si corresponde
        PRECARGAR adaptador del visor
    SINO
        MOSTRAR mensaje de error o estado incompleto
    FIN SI
FIN PROCEDIMIENTO
```

4.1 Analisis rapido y analisis completo

```
FUNCION SELECCIONAR_ALCANCE_DE_ANALISIS(modo)
    SI modo = rapido ENTONCES
        GENERAR solo ejes criticos y figuras esenciales
        REUTILIZAR caches cuando no hay cambios importantes
        RETORNAR alcance_reducido
    SINO
        GENERAR desarrollo integral de la memoria
        RENDERIZAR figuras completas por ejes y combinaciones
        RETORNAR alcance_total
    FIN SI
FIN FUNCION
```

4.2 Analisis con muros

```
FUNCION CONFIGURAR_MUROS(incluir_muros)
    SI incluir_muros = VERDADERO ENTONCES
        INCORPORAR metrado de cargas de muro
        GENERAR anexo de muro para la memoria
        ADJUNTAR Anexo 03 al PDF principal
    SINO
        OMITIR metrado de muro
    FIN SI
    RETORNAR estado_muros
FIN FUNCION
```

5. Generacion de memoria PDF

El documento tecnico se construye por capitulos, tablas, figuras y anexos. El sistema conserva el formato institucional y reutiliza caches cuando es posible.

```
PROCEDIMIENTO FLUJO_EXPORTACION_PDF()
    BUSCAR memoria_calculo_estructura.pdf mas reciente

    SI el PDF existe y esta completo ENTONCES
        ABRIR o copiar temporalmente el PDF final
        RETORNAR exito
    FIN SI

    SI no existe un PDF valido ENTONCES
        EJECUTAR generar_pdf.py con el contexto actual
        ESPERAR finalizacion
        VERIFICAR integridad del PDF

        SI el PDF es valido ENTONCES
            ADJUNTAR anexos requeridos
            GUARDAR en reportes del usuario
            RETORNAR exito
        SINO
            MOSTRAR mensaje de error
            RETORNAR fallo
        FIN SI
    FIN SI
FIN PROCEDIMIENTO
```

5.1 Estructura interna de la memoria

```
PROCEDIMIENTO GENERAR_MEMORIA_TECNICA()
    CONSTRUIR portada y encabezado institucional
    ESCRIBIR introduccion y datos generales del proyecto
    DESARROLLAR predimensionamiento de vigas, losas y columnas
    EJECUTAR analisis sismico en 3D
    GENERAR capitulos estructurales por planos XZ y YZ
    INSERTAR tablas, figuras, envolventes y superposiciones
    INCORPORAR anexos de losa y, si aplica, de muros
    EXPORTAR memoria_calculo_estructura.pdf
FIN PROCEDIMIENTO
```

6. Visor 3D de resultados

El visor se habilita cuando el analisis deja resultados suficientes. Su objetivo es facilitar la revision interactiva del comportamiento estructural.

```
PROCEDIMIENTO FLUJO_VISOR_3D()
    VERIFICAR existencia de sap_results.json y salidas graficas

    SI no existen resultados suficientes ENTONCES
        MOSTRAR aviso: primero se debe Analizar
        RETORNAR
```

```
    FIN SI

    SI el adaptador del visor ya esta precargado ENTONCES
        ABRIR ventana principal del visor
    SINO
        MOSTRAR ventana de espera
        CARGAR adaptador en segundo plano
        ABRIR visor cuando el adaptador este listo
    FIN SI

    PERMITIR al usuario:
        CAMBIAR vista (isometrica, XZ, YZ)
        CAMBIAR estado (geometria, combinacion, superposicion, envolvente)
        CAMBIAR diagrama (axial, cortante, momento, reacciones)
        SELECCIONAR elementos y ver dialogo de resultados
FIN PROCEDIMIENTO
```

7. Verificacion opcional con SAP2000

El contraste con SAP2000 es una etapa opcional del sistema. El proyecto no depende de ella para funcionar, pero la integra como verificacion complementaria.

```
PROCEDIMIENTO FLUJO_VERIFICACION_SAP2000()
    BUSCAR ruta configurada de SAP2000.exe

    SI no existe una ruta valida ENTONCES
        SOLICITAR al usuario seleccionar SAP2000.exe
        SI el usuario cancela ENTONCES
            MANTENER programa operativo sin SAP2000
            RETORNAR
        FIN SI
    FIN SI

    EJECUTAR motor de verificacion externo
    GENERAR modelos comparativos y hoja Excel
    LEER archivos actualizados de comparacion
    MOSTRAR progreso por etapas en la interfaz

    SI la ejecucion termina correctamente ENTONCES
        HABILITAR accesos a carpeta y Excel de comparacion
    SINO
        MOSTRAR mensaje de error de verificacion
    FIN SI
FIN PROCEDIMIENTO
```

8. Gestion de caches y rendimiento

El sistema usa caches para acelerar reanalisis, reconstruccion de figuras y apertura de resultados, sin cambiar la salida final del proyecto.

```
FUNCION GESTIONAR_CACHES(clave_de_analisis)
    SI existe cache valido para la clave_de_analisis ENTONCES
```

```
        RECUPERAR figuras, resumenes y PDF parcial
        REDUCIR tiempo de reanalisis
    SINO
        GENERAR resultados desde cero
        ACTUALIZAR caches numericos, graficos y PDF
    FIN SI
    RETORNAR estado_cache
FIN FUNCION
```

9. Salidas principales del sistema

Como resultado del flujo, el sistema produce informacion util tanto para el usuario final como para la sustentacion de tesis.

Salida	Descripción
memoria_calculo_estructura.pdf	Memoria técnica final con capítulos, figuras, tablas y anexos.
sap_results.json	Resumen estructural útil para visor y posproceso.
modal_3d_pisos.json	Resumen de desplazamientos y derivas por nivel.
UNU STRUCT vs SAP2000.xlsx	Comparación opcional con resultados del software SAP2000.
Modelo IFC	Exportación interoperable del modelo cuando el flujo IFC está habilitado.

10. Cierre metodológico

Conclusión: *el pseudocódigo presentado resume la lógica del modelo computacional bajo una estructura modular. Se evidencia un sistema que integra captura de datos, análisis estructural, verificación sísmica, visualización 3D y generación automatizada de entregables técnicos, manteniendo portabilidad, trazabilidad y soporte documental.*

Anexo 3. Manual de usuario de UNU STRUCT v.01

MANUAL DE USUARIO - UNU STRUCT v.01

Este manual describe el flujo principal del programa, las opciones mas importantes para el usuario y las recomendaciones practicas para trabajar con seguridad en el modelado, el analisis y la exportacion de documentos.

Aplicacion	UNU STRUCT v.01
Documento	Manual de usuario
Salida	Uso general, analisis, visor 3D, exportacion PDF e IFC
Fecha	Abril 2026

Alcance: *este manual esta orientado al usuario final del programa. No describe detalles internos del codigo ni procedimientos de desarrollo; se enfoca en como usar la herramienta de forma correcta y eficiente.*

1. Requisitos y consideraciones iniciales

Antes de usar el programa, ten en cuenta estas condiciones basicas:

- El programa puede ejecutarse desde Python en la carpeta del proyecto o desde el instalador generado.
- Para una instalacion normal en otra PC, conviene usar el instalador y dejar que el programa trabaje con sus rutas dinamicas en **LocalAppData**.
- El uso de **SAP2000** es opcional. Si la PC no tiene SAP2000, la aplicacion sigue funcionando; simplemente no se podra hacer la verificacion instantanea con SAP.
- La memoria de calculo, caches, configuracion, datos de trabajo y salidas estructurales se administran automaticamente en carpetas internas del proyecto o en el directorio portable del usuario segun el modo de ejecucion.

2. Inicio del programa

Al abrir la interfaz principal encontraras un panel de entrada de datos y un area de visualizacion 3D. El flujo recomendado de uso es el siguiente:

- Completa la ubicacion del proyecto: provincia, distrito y direccion.
- Define la geometria de la estructura ingresando los tramos en X, Y y Z.
- Configura vigas principales, vigas secundarias, losa, columnas y material.
- Activa la opcion de muros solo cuando deseas incluir el metrado de muros y el anexo correspondiente en la memoria.
- Pulsa **Analizar** para ejecutar el flujo estructural.
- Una vez terminado el analisis, usa **Export PDF** para abrir o localizar la memoria de calculo generada.

3. Ingreso correcto de datos

El programa valida automaticamente muchos campos numericos. Para evitar errores, considera lo siguiente:

- Los valores deben ingresarse en las unidades mostradas por la interfaz.

- Las vigas y columnas tienen minimos geometricos controlados por el sistema para evitar dimensiones no validas.
- La losa se limita a espesores predefinidos o recomendados segun la configuracion vigente del proyecto.
- Si un campo queda en rojo o no valida, corrige el valor antes de analizar.

> ***Consejo:*** *si cambias la geometria o las dimensiones principales, vuelve a revisar las recomendaciones de predimensionamiento antes de lanzar el analisis completo.*

4. Analisis estructural

El boton **Analizar** ejecuta el flujo estructural del proyecto. Dependiendo de la configuracion, el programa puede trabajar en modo rapido o en modo completo.

Durante el analisis se actualizan mensajes de estado, progreso y validacion sismica. Al finalizar, la interfaz muestra un resumen del estado sismico general.

4.1 Modo rapido

Es el modo recomendado para iteraciones frecuentes, revisiones de geometria y verificaciones preliminares. Aprovecha los caches para acelerar reanalisis sin cambios importantes.

4.2 Modo completo

Genera el desarrollo integral de la memoria y produce todas las figuras del flujo estructural. Debe usarse cuando deseas obtener la documentacion final o revisar resultados completos.

4.3 Analisis con muros

Si activas la opcion de muros, el programa incorpora el metrado correspondiente y adjunta el **Anexo 03: Metrado de cargas de muro de albañileria** al final de la memoria PDF.

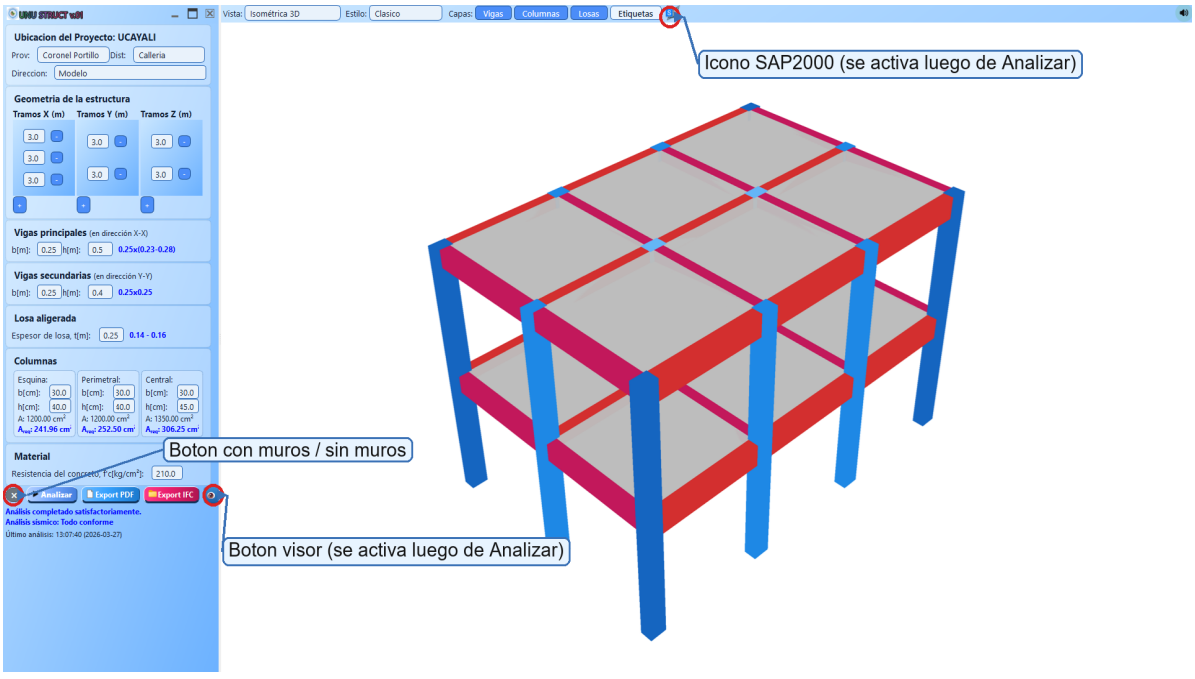
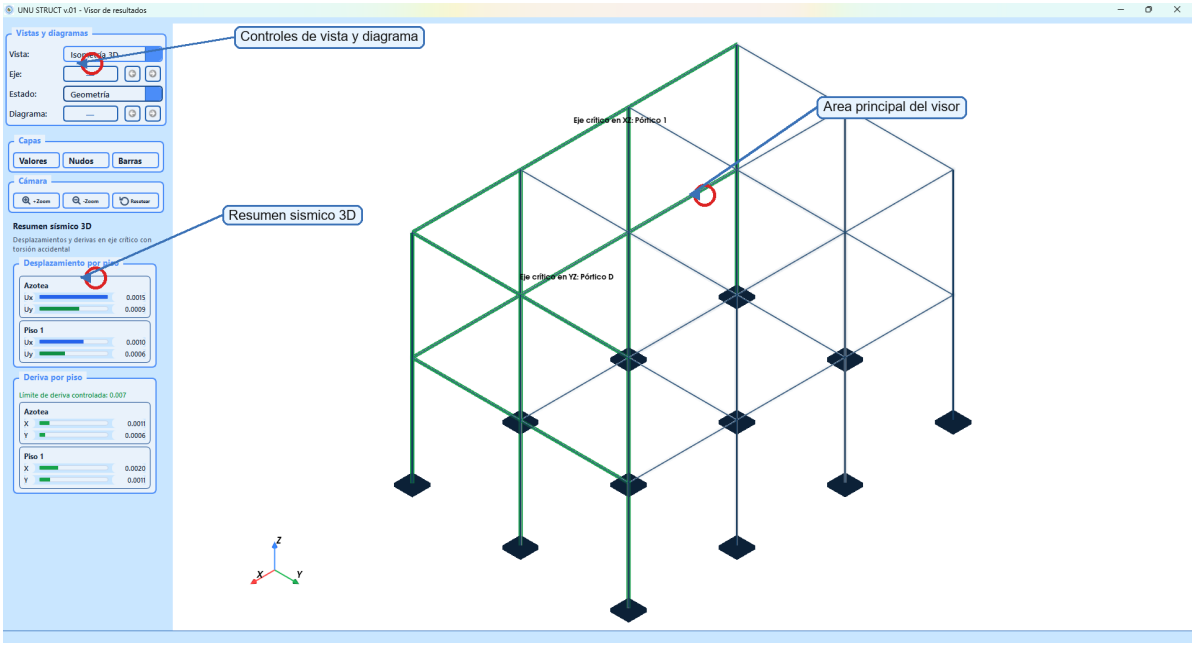


*Figura referencial de la interfaz general. Se señala el boton que alterna el estado **con muros** o **sin muros**. Ademas, los botones del **visor** y de **SAP2000** se habilitan recien despues de ejecutar **Analizar**.*

5. Resultados y visor 3D

El visor de resultados permite revisar el comportamiento del modelo con diferentes vistas y estados. Entre las funcionalidades principales se incluyen:

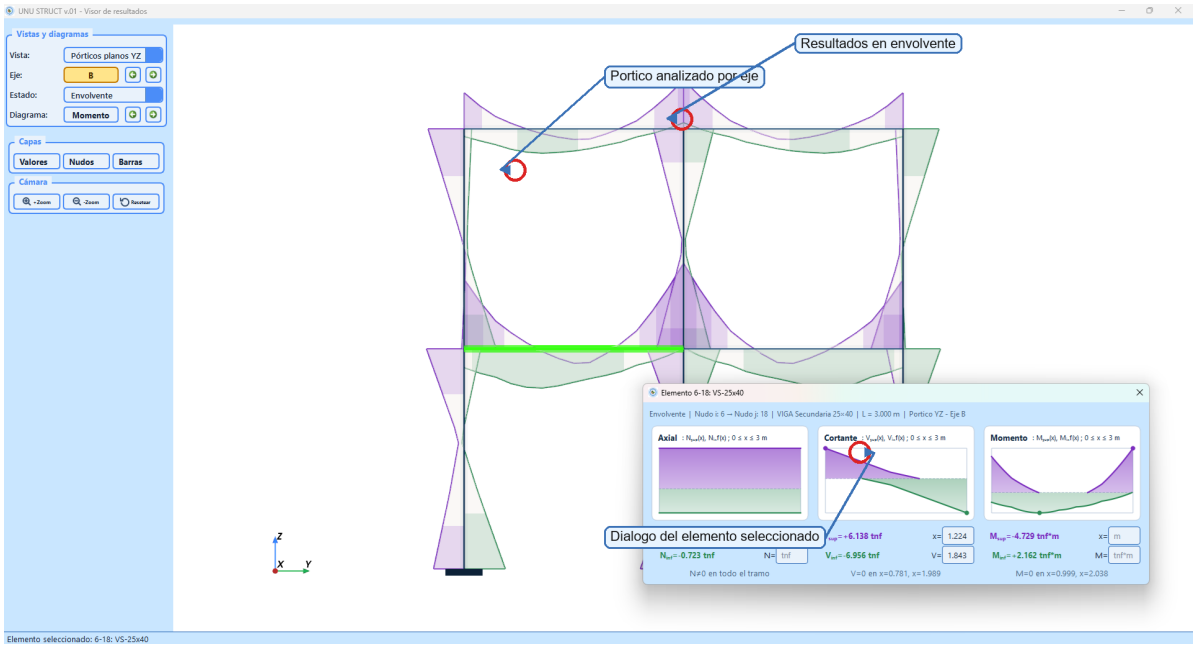
- Isometria 3D del modelo completo.
- Porticos planos XZ y YZ por eje.
- Diagramas de fuerza axial, cortante y momento.
- Superposicion de combinaciones y envolventes.
- Reacciones en apoyos y lectura de momentos de empotramiento.
- Seleccion de elementos y dialogo de propiedades/resultados.



Vista general del visor de resultados. Se identifican los controles de vista y diagrama, el resumen sismico 3D y el area principal donde se representa el modelo.

5.1 Recomendaciones de uso del visor

- Usa primero la vista isometrica para una lectura global del comportamiento.
- Luego pasa a los porticos XZ o YZ para revisar con detalle fuerzas internas por eje.
- En superposicion y envolvente, apoya la lectura con la leyenda lateral y las etiquetas de valores.
- Si el elemento seleccionado cambia de contexto por filtro o estado, el dialogo asociado se actualiza automaticamente.



Ejemplo de lectura de resultados en el visor. Se muestra un portico por eje, la representacion en envolvente y el dialogo del elemento seleccionado para revisar axial, cortante y momento.

6. Exportacion de la memoria PDF

El programa genera la memoria de calculo en PDF con encabezado institucional, capitulos tecnicos, analisis sismico, desarrollo estructural y anexos. El archivo principal se guarda con el nombre **memoria_calculo_estructura.pdf**.

- La memoria no se elimina automaticamente; al volver a analizar, se reemplaza por la version nueva.
- Si el proyecto ya fue analizado y no hubo cambios importantes, el sistema reutiliza caches para acelerar la exportacion sin alterar la presentacion final.
- En instalaciones normales, el PDF se administra dentro del directorio de trabajo dinamico del usuario.

7. Exportacion IFC

El boton **Export IFC** permite generar una representacion interoperable del modelo cuando el flujo de exportacion esta disponible. Se recomienda usarlo despues de validar la geometria principal y el analisis base.

8. Integracion con SAP2000

La verificacion instantanea con SAP2000 es opcional. Cuando el programa solicita la ruta a **SAP2000.exe**, el usuario debe seleccionar el ejecutable principal de una instalacion valida de SAP2000.

- Si SAP2000 esta instalado, el programa puede recordar la ruta configurada y reutilizarla en ejecuciones posteriores.
- Si SAP2000 no esta instalado, la aplicacion no queda obsoleta ni inutilizable.
- La ausencia de SAP solo afecta la verificacion inmediata contra SAP2000; el resto del flujo sigue operativo.

9. Ubicacion de archivos importantes

Tipo de archivo	Ubicacion habitual
Memoria PDF	%LOCALAPPDATA%\UNU STRUCT v.01\reportes
Caches	%LOCALAPPDATA%\UNU STRUCT v.01\caches
Temporales	%LOCALAPPDATA%\UNU STRUCT v.01\temporales
Salidas estructurales	%LOCALAPPDATA%\UNU STRUCT v.01\salidas
Recursos graficos	Se incluyen dentro de la instalacion del programa
Datos de ejecucion	Gestionados automaticamente por la aplicacion

10. Buenas practicas para el usuario

- Trabaja primero en modo rapido mientras ajustas geometria o dimensiones.
- Usa el modo completo cuando necesites la memoria final o revisar la salida integral.
- Conserva una copia del instalador y de la carpeta distribucion de esta version estable antes de introducir cambios experimentales.
- Si instalas el programa en otra PC, prefiere el instalador oficial para mantener el flujo portable y las rutas dinamicas del usuario.
- Si algo parece no actualizarse, repite el analisis y verifica que el mensaje de estado indique finalizacion correcta.

11. Soporte y diagnostico basico

Si se presenta un problema, conviene registrar al menos estos datos antes de pedir soporte tecnico:

- captura del mensaje de error
- si el flujo se ejecuto con o sin muros
- si SAP2000 estaba o no instalado en la PC
- si el problema ocurrio en analizar, visor, exportacion PDF o exportacion IFC

Cierre: *UNU STRUCT v.01 esta pensado para permitir un flujo de trabajo tecnico, portable y documentado. El mejor resultado se obtiene cuando el usuario mantiene una rutina ordenada: ingresar datos coherentes, analizar, revisar resultados en el visor y exportar la memoria final cuando el proyecto ya esta validado.*

Anexo 4. Memoria de cálculo de la configuración representativa

1. CONSIDERACIONES INICIALES

1.1. Ubicacion del Proyecto

- Departamento : Ucayali
- Provincia : Coronel Portillo
- Distrito : Calleria
- Direccion : AV. Aviación Mz. C Lt. 11

1.2. Propiedades de los materiales

- Resistencia de diseno del concreto, f'c : 210.00 kgf/cm²
- Fluencia del acero, fy : 4200.00 kgf/cm²
- Peso especifico del concreto armado, P_c : 2400.00 kgf/m³
- Peso especifico del mortero, P_{mor} : 2000.00 kgf/m³
- Peso especifico de la albañileria, P_{alb} : 1800.00 kgf/m³
- Modulo de Poisson, ν : 0.20
- Modulo de elasticidad del concreto, E_c : 217370.65 kgf/cm²
- Sobrecarga de uso (vivienda), S/C : 200.00 kgf/m²

1.3. Parametros sismicos (Segun N.T.P. E.030, Diseno Sismorresistente)

- Factor Zona, $Z=Z_2$: 0.25
- Factor de Uso, U : 1.00 (Categoria C: Edificaciones comunes)
- Factor de Suelo, $S=S_3$: 1.40 (Suelos blandos)

1.4. Geometria de la estructura

- Numero de tramos en direccion X-X : 3
- Longitud total en direccion X-X : 10.00 m
- Longitud del tramo mayor en direccion X-X : 4.00 m
- Numero de tramos en direccion Y-Y : 2
- Longitud total en direccion Y-Y : 8.00 m
- Longitud del tramo mayor en direccion Y-Y : 4.50 m
- Numero de pisos de la edificacion (Z-Z) : 3
- Altura total de la edificacion (Z-Z) : 8.60 m
- Altura del tramo mayor en direccion Z-Z : 3.00 m

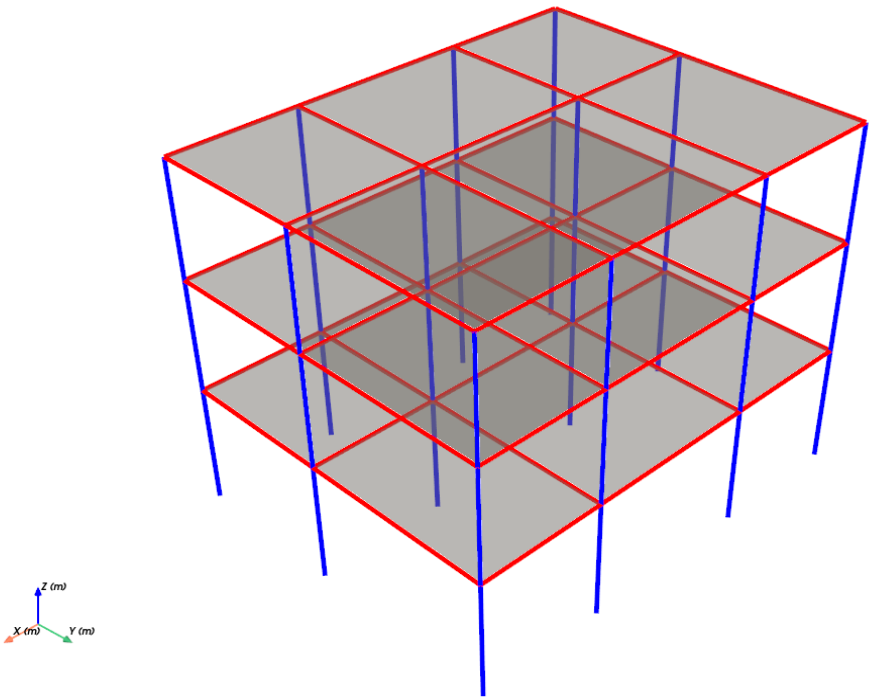


Figura 1: Vista isométrica de la estructura

2. PREDIMENSIONAMIENTO

2.1. Predimensionamiento de vigas

2.1.1 Vigas principales :

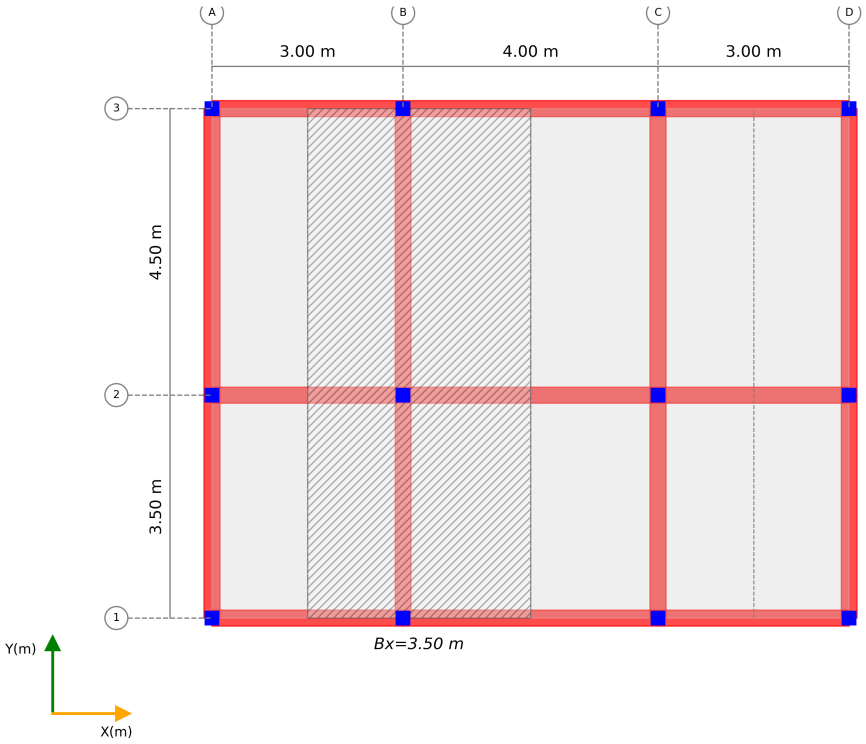


Figura 2: Vista en planta de la estructura, y ancho tributario para vigas principales

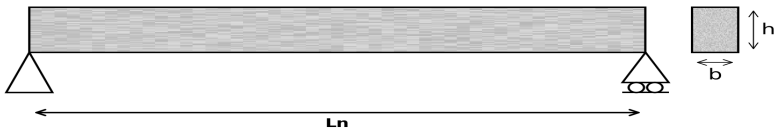


Figura 3: Representación de vigas para su predimensionamiento

Las vigas principales se encuentran en el sentido Y-Y

Longitud del tramo mayor, L = 4.50m y L_n = 4.25m

Ancho tributario, B = 3.50m

Dimensiones calculadas:

Base de viga principal, b_{vp} = B/20 = 0.17m, b_{vp_min} = 0.25

Altura de viga principal, h_{vp} = L_n/10 = 0.42m y L_n/12 = 0.35m

Dimensiones asumidas:

$$\mathbf{b_{vp} = 0.25m \rightarrow Ok}$$

$$\mathbf{h_{vp} = 0.40m \rightarrow Ok}$$

2.1.2 Vigas secundarias :

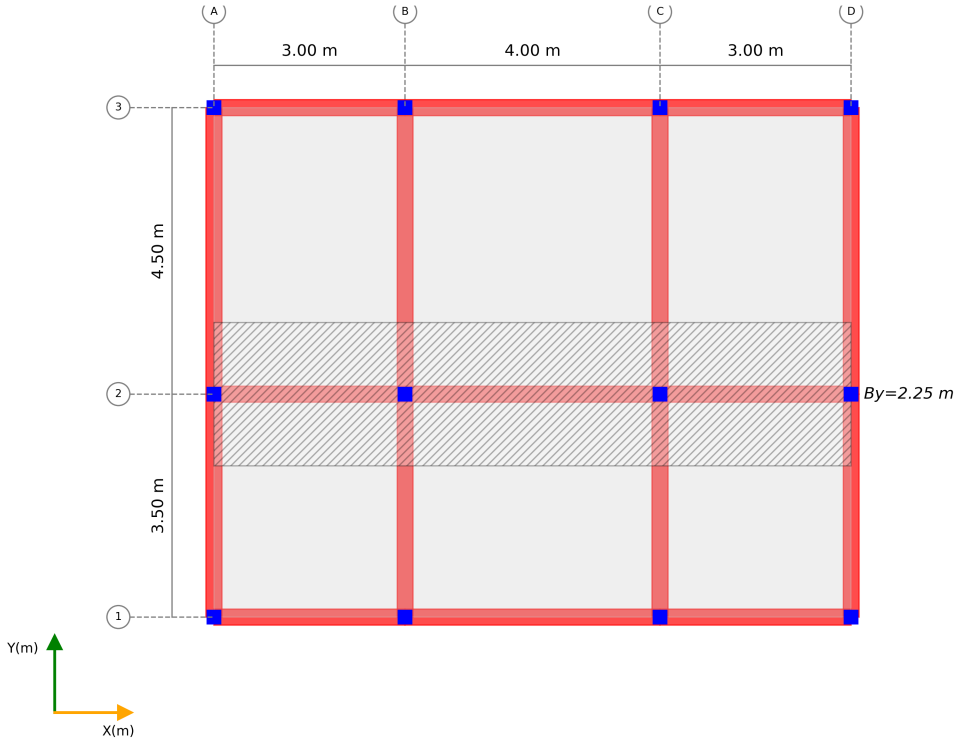


Figura 4: Vista en planta de la estructura, y ancho tributario para vigas secundarias

El ancho minimo para una viga secundaria sera: b_{min} = 0.25m

Longitud del tramo mayor, L = 4.00m y L_n = 3.75m

Altura calculada:

Altura de viga secundaria, $h_{vs} = L_n/14 = 0.27m$, $h_{vs_min} = 0.25m$

Dimensiones asumidas:

$$\mathbf{b_{vs} = 0.25m \rightarrow Ok}$$

$$\mathbf{h_{vs} = 0.30m \rightarrow Ok}$$

2.2. Predimensionamiento de losas

Segun el Capitulo 9 de la N.T.P. E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones tenemos:

Tabla 1: Peraltes o espesores mínimos de vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen deflexiones grandes

Espesor o peralte mínimo, h				
Elementos	Elementos que no soportan o están ligados a divisiones u otro tipo de elementos no estructurales susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Losas macizas en una dirección	L/20	L/24	L/28	L/10
Vigas o losas nervadas en una dirección	L/16	L/18.5	L/21	L/8

Consideramos que las vigas principales se encuentran cargando las losas, y para este caso predimensionaremos una losa aligerada en una dirección

Altura o espesor de losa calculada, h_{losa}:

Con un extremo continuo: $h_{losa} = Ln/18.5 = 0.22m$

Ambos extremos continuos: $h_{losa} = Ln/21 = 0.19m$

$$\mathbf{h_{losa} = 0.20m \rightarrow Ok}$$

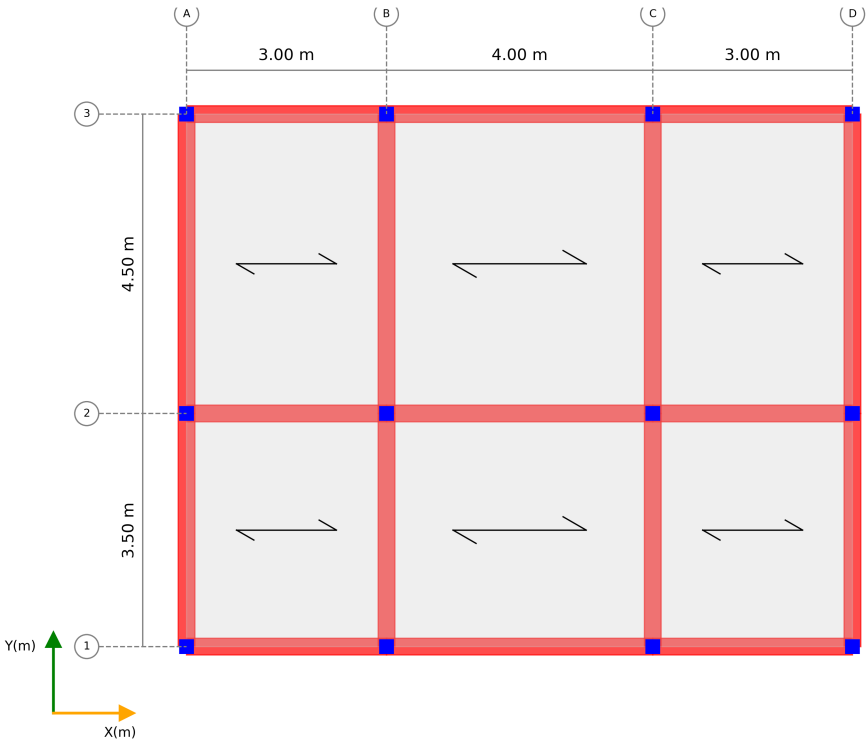


Figura 5: Vista en planta de la dirección de losa aligerada

2.3. Predimensionamiento de columnas

$$A_{COL} = \frac{\lambda P_G}{\eta f'_C}$$

- **A_{COL}**: *Área de columna*
- **λ, η**: *Factores que dependen de la ubicación de la columna*
- **P_G**: *Carga por gravedad*

Tabla 2: Factores para el predimensionamiento de columnas

TIPO DE COLUMNA	λ	η
CENTRAL	1.10	0.30
PERIMETRAL	1.25	0.25
ESQUINA	1.50	0.20

Para obtener el resultado de las cargas por gravedad, necesitamos la carga de la losa aligerada y las cargas de los muros no portantes, cuyo metrado de cargas se encuentran en los anexos

- Peso de losa aligerada, P_{losa} = 423.31 kgf/m²
- Muros no portantes: no considerados en este análisis.

2.3.1 Predimensionamiento de columna central:

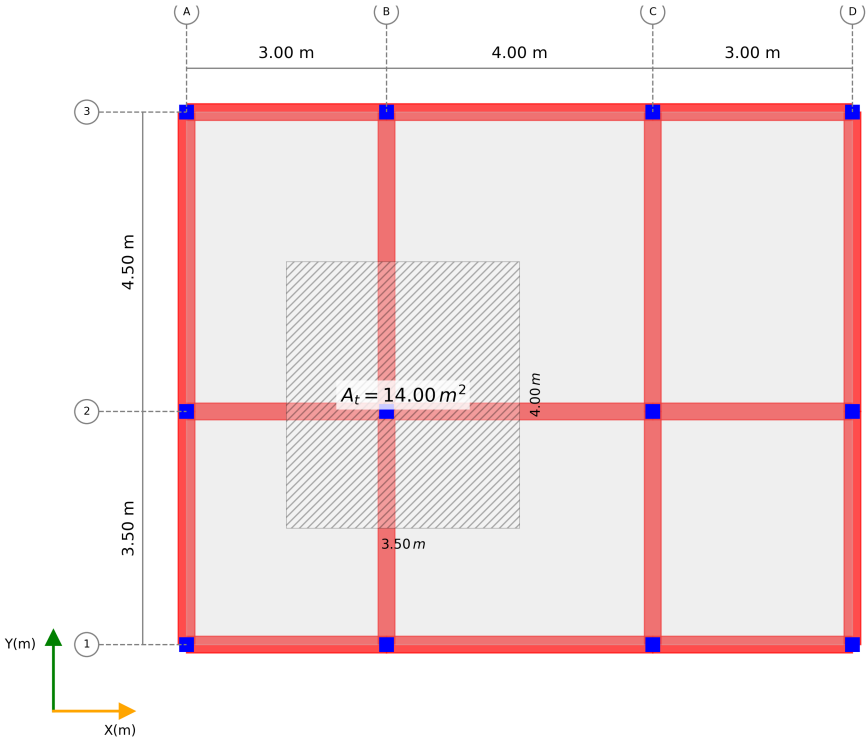


Figura 6: Área tributaria para columna central

2.3.1.a Metrado de carga muerta para columna central

Tabla 3: Metrado de carga muerta - columna central

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Acabado	3	14.00	-	0.100	4.20
Tabiquería típica	2	14.00	-	0.100	2.80
Tabiquería últ Nivel	1	14.00	-	0.050	0.70
Losa aligerada	3	12.16	-	0.423	15.45

Descripción	Cantidad	Sección (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m³)	Peso (tnf)
Vigas X-X	3	0.07	3.10	2.40	1.67
Vigas Y-Y	3	0.10	3.60	2.40	2.59
Columna 40x40	1	0.16	8.60	2.40	3.30
Muros X-X	1	-	3.10	0.00tnf/m	0.00
Muros Y-Y	1	-	3.60	0.00tnf/m	0.00
Carga Muerta					**30.72**

2.3.1.b Metrado de carga viva para columna central

Tabla 4: Metrado de carga viva - columna central

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Sobrecarga típica	2	14.00	-	0.200	5.60
Sobrecarga último nivel	1	14.00	-	0.100	1.40
Carga Viva					**7.00**

2.3.1.c Carga por servicio y carga última para columna central

Tabla 5: Carga última y en servicio - columna central

Carga en Servicio (D+L)	**37.72**
Carga Última (1.4D+1.7L)	**54.90**

La carga por gravedad calculada P_G = 37717.03kgf
Resistencia del concreto f'_c = 210.00kgf/cm²
Parámetros para columna central según la Tabla 2: λ = 1.10 y η = 0.30
→ A_{COL} = 658.55cm²

Sección: 30.0cmx40.0cm
$Área_{cc}$: 1200.00cm² → Ok

2.3.2 Predimensionamiento de columna perimetral:

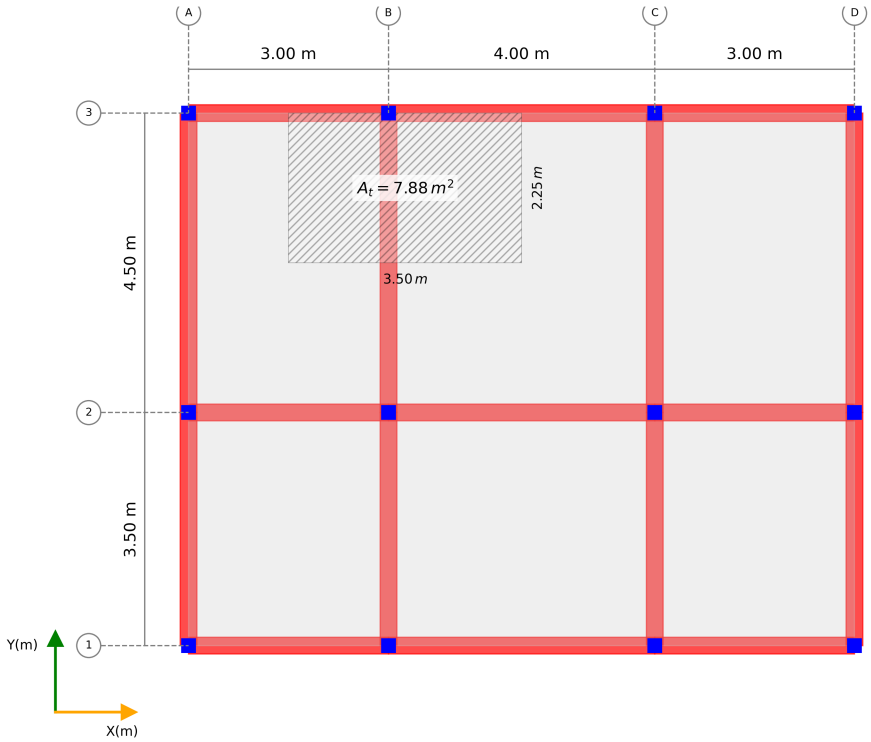


Figura 7: Área tributaria para columna perimetral

2.3.2.a Metrado de carga muerta para columna perimetral

Tabla 6: Metrado de carga muerta - columna perimetral

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)

Acabado	3	7.88	-	0.100	2.36
Tabiquería típica	2	7.88	-	0.100	1.58
Tabiquería últ Nivel	1	7.88	-	0.050	0.39
Losa aligerada	3	6.71	-	0.423	8.52

Descripción	Cantidad	Sección (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m³)	Peso (tnf)
Vigas X-X	3	0.07	3.10	2.40	1.67
Vigas Y-Y	3	0.10	1.85	2.40	1.33
Columna 40x40	1	0.16	8.60	2.40	3.30
Muros X-X	1	-	3.10	0.00tnf/m	0.00
Muros Y-Y	1	-	1.85	0.00tnf/m	0.00
Carga Muerta					**19.16**

2.3.2.b Metrado de carga viva para columna perimetral

Tabla 7: Metrado de carga viva - columna perimetral

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Sobrecarga típica	2	7.88	-	0.200	3.15
Sobrecarga último nivel	1	7.88	-	0.100	0.79
Carga Viva					**3.94**

2.3.2.c Carga por servicio y carga última para columna perimetral

Tabla 8: Carga última y en servicio - columna perimetral

Carga en Servicio (D+L)	**23.10**
Carga Última (1.4D+1.7L)	**33.52**

La carga por gravedad calculada P_G = 23096.75kgf
Resistencia del concreto f'_c = 210.00kgf/cm²
Parámetros para columna central según la Tabla 2: $\lambda = 1.25$ y $\eta = 0.25$
$\rightarrow A_{COL}$ = 549.92cm²

Sección: 25.0cmx30.0cm
$Área_{cp}$: 750.00cm² $\rightarrow$ Ok

2.3.3 Predimensionamiento de columna en esquina:

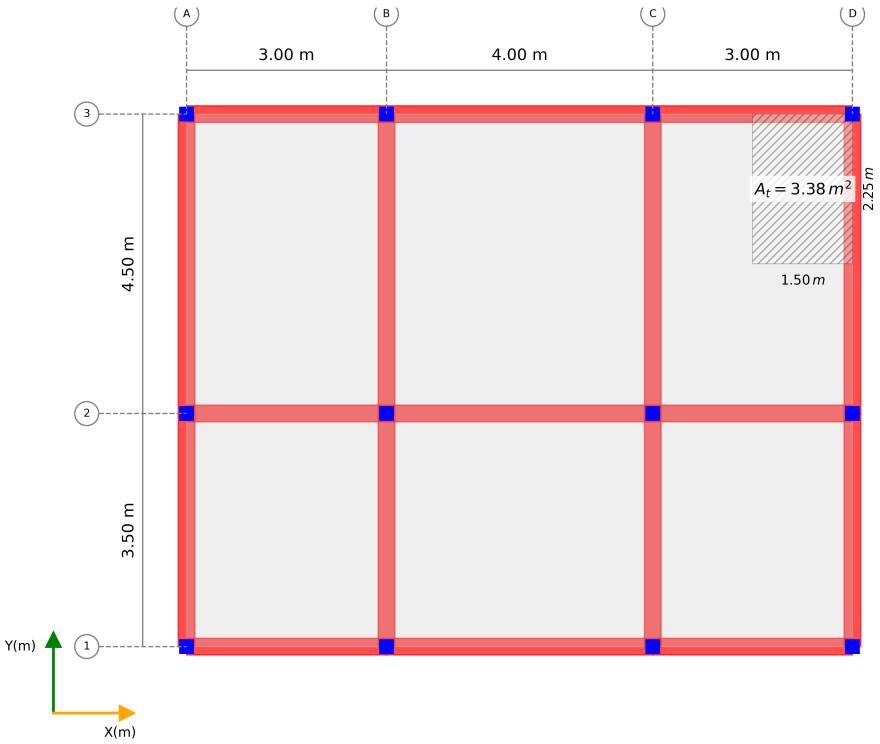


Figura 8: Área tributaria para columna en esquina

2.3.3.a Metrado de carga muerta para columna en esquina

Tabla 9: Metrado de carga muerta - columna en esquina

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Acabado	3	3.38	-	0.100	1.01
Tabiquería típica	2	3.38	-	0.100	0.68
Tabiquería últ Nivel	1	3.38	-	0.050	0.17
Losa aligerada	3	2.85	-	0.423	3.61

Descripción	Cantidad	Sección (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m³)	Peso (tnf)
Vigas X-X	3	0.07	1.10	2.40	0.59
Vigas Y-Y	3	0.10	1.85	2.40	1.33
Columna 40x40	1	0.16	8.60	2.40	3.30
Muros X-X	1	-	1.10	0.00tnf/m	0.00
Muros Y-Y	1	-	1.85	0.00tnf/m	0.00
Carga Muerta					**10.70**

2.3.3.b Metrado de carga viva para columna en esquina

Tabla 10: Metrado de carga viva - columna en esquina

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Sobrecarga típica	2	3.38	-	0.200	1.35
Sobrecarga último nivel	1	3.38	-	0.100	0.34
Carga Viva					**1.69**

2.3.3.c Carga por servicio y carga última para columna en esquina

Tabla 11: Carga última y en servicio - columna en esquina

Carga en Servicio (D+L)	**12.39**
Carga Última (1.4D+1.7L)	**17.85**

La carga por gravedad calculada P_G = 12386.67kgf
Resistencia del concreto f'_c = 210.00kgf/cm²
Parámetros para columna central según la Tabla 2: $\lambda = 1.50$ y $\eta = 0.20$
$\rightarrow A_{COL}$ = 442.38cm²

Sección: 25.0cmx30.0cm
$Área_{ce}$: 750.00cm² $\rightarrow$ Ok

2.4. Sección transversal de elementos estructurales

A continuación se muestra el cuadro resumen de las dimensiones de los elementos estructurales (vigas, losa y columnas):

Tabla 12: Sección transversal de los elementos estructurales

ELEMENTO ESTRUCTURAL	b(m)	h(m)
Vigas principales, VP	0.25	0.40
Vigas secundarias, VS	0.25	0.30
Columna central, CC	0.30	0.40
Columna perimetral, CP	0.25	0.30
Columna en esquina, CE	0.25	0.30
Losa aligerada unidireccional, h	-	0.20

Con estas dimensiones predimensionadas procedemos a realizar el análisis sísmico en ambas direcciones (X e Y) para verificar los desplazamientos relativos admisibles según el Art. 32 de la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente, y posteriormente realizar el análisis estructural.

2.5. Criterio de modelación estructural

Con el fin de mantener coherencia entre el predimensionamiento, el análisis sísmico y el análisis estructural final, se adoptan los siguientes niveles de modelación:

• Predimensionamiento: se emplea la planta estructural con áreas y anchos tributarios para estimar las dimensiones iniciales de vigas, losa y columnas.

• Análisis sísmico: se utilizan modelos planos independientes en las direcciones X-X e Y-Y, idealizados como edificio de corte con un grado de libertad lateral por nivel, adecuados para estimar periodos, fuerzas laterales y derivas globales.

• Análisis estructural final: se emplean pórticos planos en los planos XZ y YZ con cargas distribuidas, combinaciones de carga y envolventes de diseño, con el propósito de obtener esfuerzos internos para el dimensionamiento.

• Justificación metodológica: el modelo sísmico plano representa la respuesta global del edificio por dirección principal, mientras que los pórticos XZ y YZ permiten evaluar la respuesta local de los elementos resistentes con el nivel de detalle requerido para diseño.

3. ANÁLISIS SÍSMICO PLANO

3.1. Metrado de cargas de la edificación

En esta sección se cuantifican las cargas muertas y vivas totales por piso de la edificación empleando el mismo criterio de metrado usado en los análisis planos X-X e Y-Y.

Metrado de Carga Muerta (CM):

Tabla 13: Carga muerta - Nivel 1 de la edificación

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Acabado	1	80.00	-	0.100	8.00
Tabiquería típica	1	80.00	-	0.100	8.00
Losa aligerada	1	64.75	-	0.423	27.41

Descripción	Cantidad	Sección (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m³)	Peso (tnf)
Vigas X-X	1	0.075	27.65	2.400	4.98
Vigas Y-Y	1	0.100	29.40	2.400	7.06
Col. Central	2	0.120	2.90	2.400	1.67
Col. Perimetral	6	0.075	2.90	2.400	3.13
Col. Esquina	4	0.075	2.90	2.400	2.09
Muros X-X	1	-	27.65	0.000tonf/m	0.00
Muros Y-Y	1	-	29.40	0.000tonf/m	0.00
Carga muerta Piso 1					**62.33**

Tabla 14: Carga muerta - Nivel 2 de la edificación

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Acabado	1	80.00	-	0.100	8.00
Tabiquería típica	1	80.00	-	0.100	8.00
Losa aligerada	1	64.75	-	0.423	27.41

Descripción	Cantidad	Sección (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m³)	Peso (tnf)
Vigas X-X	1	0.075	27.65	2.400	4.98
Vigas Y-Y	1	0.100	29.40	2.400	7.06
Col. Central	2	0.120	2.80	2.400	1.61
Col. Perimetral	6	0.075	2.80	2.400	3.02
Col. Esquina	4	0.075	2.80	2.400	2.02
Muros X-X	1	-	27.65	0.000tonf/m	0.00
Muros Y-Y	1	-	29.40	0.000tonf/m	0.00
Carga muerta Piso 2					**62.09**

Tabla 15: Carga muerta - Nivel 3 de la edificación

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Acabado	1	80.00	-	0.100	8.00
Tabiquería típica	0	80.00	-	0.100	0.00
Losa aligerada	1	64.75	-	0.423	27.41

Descripción	Cantidad	Sección (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m³)	Peso (tnf)
Vigas X-X	1	0.075	27.65	2.400	4.98
Vigas Y-Y	1	0.100	29.40	2.400	7.06
Col. Central	2	0.120	1.40	2.400	0.81
Col. Perimetral	6	0.075	1.40	2.400	1.51
Col. Esquina	4	0.075	1.40	2.400	1.01
Carga muerta Piso 3					**50.77**

Total Carga Muerta de la edificación	**175.19**

Metrado de Carga Viva (CV):

Tabla 16: Metrado de Carga Viva (CV) de la edificación

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Sobrecarga típica	2	80.00	-	0.200	32.00
Sobrecarga último nivel	1	80.00	-	0.100	8.00

Total Carga Viva de la edificación	**40.00**

Tabla 17: Carga muerta y carga viva total por piso de la edificación

Nivel	CM (tnf)	CV (tnf)	P = CM + 0.25CV (tnf)
1	62.332	16.000	66.332
2	62.094	16.000	66.094
3	50.768	8.000	52.768

3.2. Análisis estático plano en dirección X-X

PASO 1: Metrado de cargas

Metrado de Carga Muerta (CM):

Figura 9: Altura de peso por niveles en dirección Y-Y

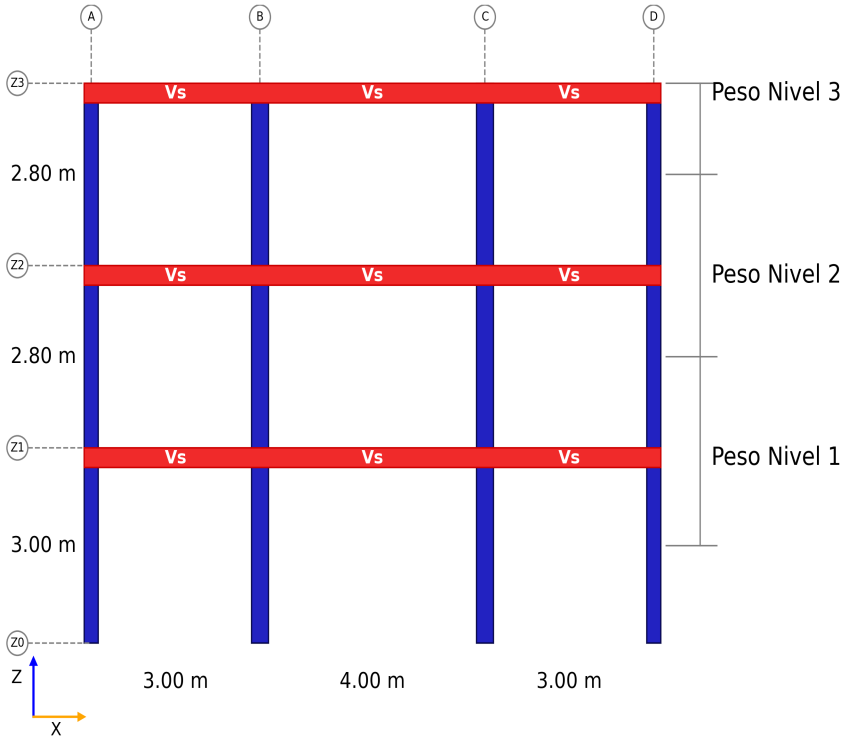


Tabla 18: Carga muerta - Nivel 1

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Acabado	1	22.50	-	0.100	2.25
Tabiquería típica	1	22.50	-	0.100	2.25
Losa aligerada	1	18.48	-	0.423	7.82

Descripción	#pisos	Sección (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m³)	Peso (tnf)
Vigas X-X	1	0.075	9.15	2.400	1.65
Vigas Y-Y	1	0.100	5.65	2.400	1.36
Col. Central	1	0.120	2.90	2.400	0.84
Col. Perimetral	1	0.075	2.90	2.400	0.52
Muros X-X	1	-	9.15	0.000tonf/m	0.00
Muros Y-Y	1	-	5.65	0.000tonf/m	0.00
Carga muerta Piso 1					**16.69**

Tabla 19: Carga muerta - Nivel 2

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Acabado	1	22.50	-	0.100	2.25

Tabiquería típica	1	22.50	-	0.100	2.25
Losa aligerada	1	18.48	-	0.423	7.82

Descripción	#pisos	Sección (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m³)	Peso (tnf)
Vigas X-X	1	0.075	9.15	2.400	1.65
Vigas Y-Y	1	0.100	5.65	2.400	1.36
Col. Central	1	0.120	2.80	2.400	0.81
Col. Perimetral	1	0.075	2.80	2.400	0.50
Muros X-X	1	-	9.15	0.000tonf/m	0.00
Muros Y-Y	1	-	5.65	0.000tonf/m	0.00
Carga muerta Piso 2					**16.64**

Tabla 20: Carga muerta - Nivel 3

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Acabado	1	22.50	-	0.100	2.25
Tabiquería típica	0	22.50	-	0.100	0.00
Losa aligerada	1	18.48	-	0.423	7.82

Descripción	#pisos	Sección (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m³)	Peso (tnf)
Vigas X-X	1	0.075	9.15	2.400	1.65
Vigas Y-Y	1	0.100	5.65	2.400	1.36
Col. Central	1	0.120	1.40	2.400	0.40
Col. Perimetral	1	0.075	1.40	2.400	0.25
Carga muerta Piso 3					**13.73**

Total Carga Muerta en X-X	**47.06**

Metrado de Carga Viva (CV):

Tabla 21: Metrado de Carga Viva (CV) – Dirección X

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Sobrecarga típica	2	22.50	-	0.200	9.00
Sobrecarga último nivel	1	22.50	-	0.100	2.25

Total Carga Viva en X-X	**11.25**

Peso total de la edificación: $P_T = P_{CM} + 25\%P_{CV}$

De acuerdo al Art. 26 inciso b) y d) de la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente, para la estimación del peso consideramos el 25% de la carga viva o sobrecarga + 100% de la carga muerta.

Peso total X-X, P_T = 49.87 tnf

PASO 2: Fuerza cortante basal V

De acuerdo al Art. 28.2 de la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente, determinamos la fuerza cortante basal mediante:

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot \quad P_T$$

Artículo 22 de la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente, Coeficiente de reducción de las Fuerzas Sísmicas, R=8 (Sin irregularidades):

$$\frac{C}{R} \geq 0.11$$

Artículo 14 de la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente, Factor de Amplificación Sísmica (C):

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

$$T_p \leq T \leq T_L \quad \Rightarrow \quad C = 2.5 \cdot \frac{T_P}{T}$$

$$T > T_L \quad \Rightarrow \quad C = 2.5 \cdot \frac{T_P \cdot T_L}{T^2}$$

Artículo 28.4.1 de la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente, Periodo Fundamental de Vibración:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

- C_T es un coeficiente de acuerdo al sistema estructural, y en este caso, para pórticos de concreto armado es igual a 35

- h_n es la altura total de la edificación

Tabla 22: Parámetros sísmicos y cortante basal – Dirección X-X

Parámetro	Valor
P_T (tnf)	49.869
Z · U · S	0.250 · 1.000 · 1.400 = 0.350
C	2.500 (T=0.246 s, T_P=1.0, T_L=1.6)
R	8.000
C/R	0.312 (≥ 0.11)
Factor usado	0.312

V (tnf)	5.454

Cortante basal X-X, V = 5.45 tnf

PASO 3: Distribución de la fuerza sísmica por altura

Artículo 28.3 de la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente:

Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i, correspondientes a la dirección considerada, se calculan mediante:

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i \, h_i^k}{\sum_{j=1}^{n} P_j \, h_j^k}$$

Donde:

Pi: Peso del nivel i

Pj: Peso del nivel j

hi: Altura del nivel i

hj: Altura del nivel j

El valor del exponente k depende del periodo fundamental de vibración 'T', de acuerdo a:

- Para T menor o igual a 0,5 segundos: k = 1,0.

- Para T mayor que 0,5 segundos: k = (0,75 + 0,5 T) ≤ 2,0.

Tabla 23: Distribución por piso – Dirección X-X

Nivel i	P_i (tnf)	h_i (m)	k	α_i	F_i (tnf)	V_i (tnf)
1	17.810	3.000	1.0	0.191	1.043	5.454
2	17.763	5.800	1.0	0.369	2.011	4.411
3	14.296	8.600	1.0	0.440	2.400	2.400

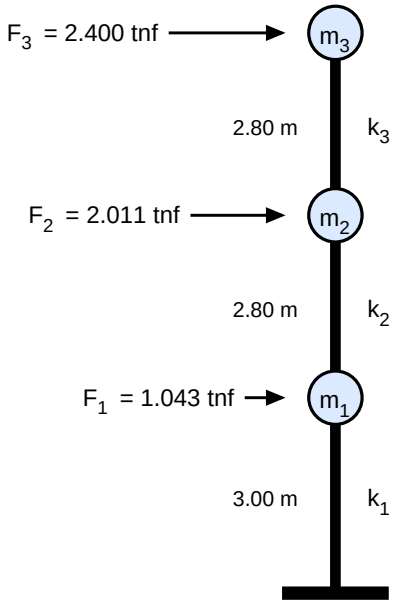


Figura 10: Fuerzas laterales F_i, alturas h_i y rigideces k_i – Dirección X-X

PASO 4: Desplazamientos absolutos Δ

Para este análisis se consideran las columnas axialmente rígidas, y las vigas totalmente rígidas, generándose un edificio de corte, asimismo, consideramos un grado de libertad lateral por cada piso.

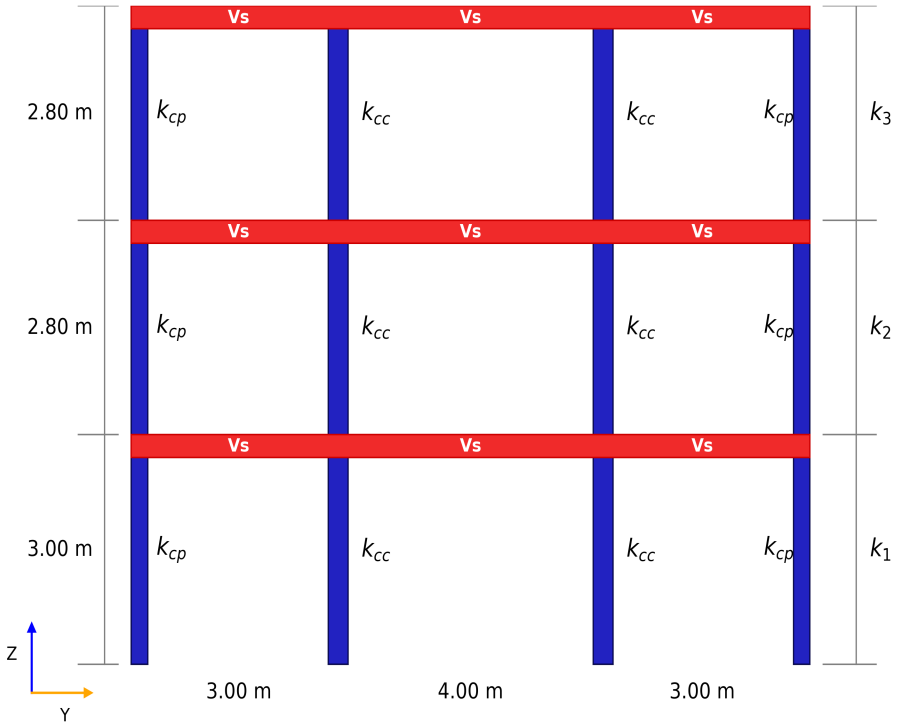


Figura 11: Edificio de corte en dirección X-X

La matriz de rigidez para el presente edificio de corte es:

$$[K] = \begin{vmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_1 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_2 & k_3 \end{vmatrix}$$

Donde k_i es la rigidez correspondiente al nivel i, y éste está conformado por la rigidez total de las columnas en dicho nivel

La rigidez que aporta cada columna está determinado por la ecuación:

$$k_{col} = \frac{12 \cdot E \cdot I}{H^3}$$

E = Módulo de elasticidad del concreto : $15000 \cdot \sqrt{(f'_c)}$

I = Momento de inercia de columna : $\frac{b \cdot h^3}{12}$

H = Altura de la columna

Las ecuaciones que relacionan rigidez, fuerzas y desplazamientos: $[K] \cdot [\Delta] = [F]$

$$\begin{vmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_1 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_2 & k_3 \end{vmatrix} \times \begin{vmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{vmatrix}$$

Matriz de rigidez total, [K] en (tnf/m) :

$$\begin{vmatrix} 5560.896 & -3067.172 & 0.000 \\ -3067.172 & 6134.344 & -3067.172 \\ 0.000 & -3067.172 & 3067.172 \end{vmatrix}$$

Vector de fuerzas laterales, [F] en (tnf) :

$$\begin{vmatrix} 1.043 \\ 2.011 \\ 2.400 \end{vmatrix}$$

Vector de desplazamientos, [Δ] en (m):

Los desplazamientos se calculan multiplicando la inversa de la matriz de rigidez por el vector fuerzas, $[\Delta] = [K]^{-1}[F]$

$$\begin{vmatrix} 0.002187 \\ 0.003625 \\ 0.004408 \end{vmatrix}$$

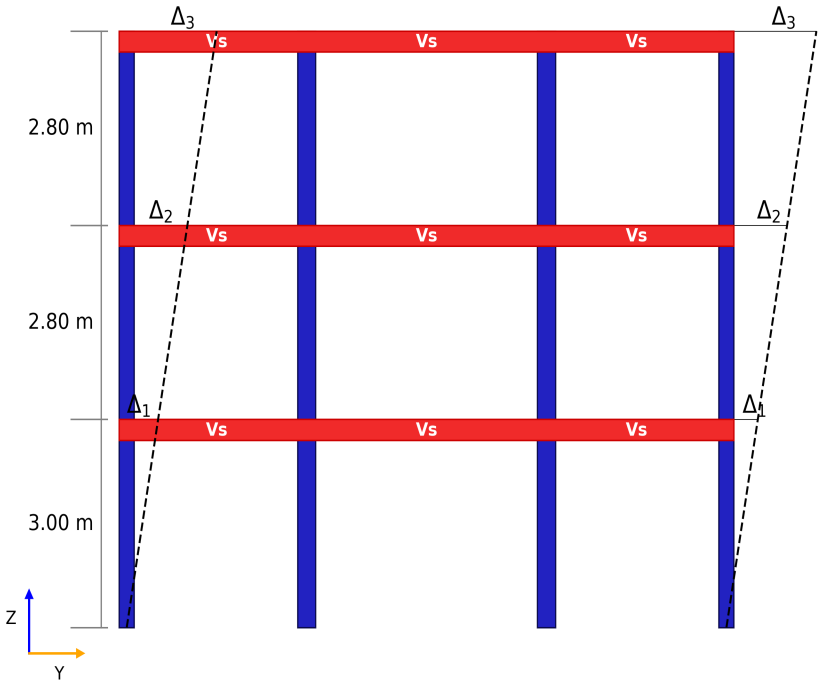


Figura 12: Desplazamientos absolutos de entrepiso - Análisis estático X-X

PASO 5: Desplazamientos relativos, derivas (distorsiones) y control

Con los desplazamientos absolutos calculados en cada entrepiso, procedemos a determinar los desplazamiento relativos y posteriormente calcular las derivas (o distorsiones) para que finalmente se verifique de acuerdo a lo que estipula la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente en su Artículo 32 (Tabla N°11).

$$\delta_1 = \Delta_1 - \Delta_0 = 0.0022 - 0.0000 = 0.0022 \text{ m}$$
$$\delta_2 = \Delta_2 - \Delta_1 = 0.0036 - 0.0022 = 0.0014 \text{ m}$$
$$\delta_3 = \Delta_3 - \Delta_2 = 0.0044 - 0.0036 = 0.0008 \text{ m}$$

$$\beta_i = \frac{\delta_i}{H_i}$$

Donde δ_i es el desplazamiento relativo del nivel i y H_i es la altura del nivel.

$$\beta_1 = \frac{0.0022}{3.000} = 0.0007$$

$$\beta_2 = \frac{0.0014}{2.800} = 0.0005$$

$$\beta_3 = \frac{0.0008}{2.800} = 0.0003$$

Finalmente, las distorsiones calculadas deben ser multiplicadas por 0.75R para su verificación final, y se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 24: Control de derivas – Dirección X-X (E.030)

Nivel i	δ_i (m)	h_i (m)	β_i	$\beta_i \cdot 0.75 \cdot R$	Límite	Control
1	0.00219	3.000	0.0007	0.0044	0.0070	OK
2	0.00144	2.800	0.0005	0.0031	0.0070	OK
3	0.00078	2.800	0.0003	0.0017	0.0070	OK

3.3. Análisis dinámico plano en dirección X-X

Se considera amortiguamiento modal $\xi = 5\%$ y combinación SRSS.

PASO 1: Matriz de Rigidez, Vector de Pesos y Matriz de Masas – X-X

La matriz de rigidez proviene del análisis estático. El peso por nivel se obtiene como $P_i = CM_i + 0.25 \cdot CV_i$. La matriz de masas se forma con $m_i = P_i/g$.

$$\begin{vmatrix} 5560.896 & -3067.172 & 0.000 \\ -3067.172 & 6134.344 & -3067.172 \\ 0.000 & -3067.172 & 3067.172 \end{vmatrix}$$

Tabla 25: Resumen de pesos por nivel – Dirección X-X

Nivel i	CM_i (tnf)	CV_i (tnf)	$0.25 \cdot CV_i$ (tnf)	$P_i = CM + 0.25 \cdot CV$ (tnf)
1	16.685	4.500	1.125	17.810
2	16.638	4.500	1.125	17.763
3	13.733	2.250	0.562	14.296

Vector de pesos por nivel P – Dirección X-X (tnf):

$$\begin{vmatrix} 17.810 \\ 17.763 \\ 14.296 \end{vmatrix}$$

Matriz de masas diagonal:

$$[M] = \text{diag}(m_1, m_2, \ldots, m_n)$$

Cálculo de cada masa por nivel:

$$m_i = P_i / g$$

Matriz de masas [M] – Dirección X-X (tn·s²/m):

$$\begin{vmatrix} 1.815499 & 0.000000 & 0.000000 \\ 0.000000 & 1.810729 & 0.000000 \\ 0.000000 & 0.000000 & 1.457242 \end{vmatrix}$$

PASO 2: Valores propios [λ] y vectores propios (modos de vibración), matriz modal [Φ] – X-X

$$[[K] - \lambda [M]] [\Phi] = [0]$$

Lo que se desea es encontrar los valores propios λ_i y luego las formas modales Φ_i, resolviendo la determinante:

$$|[K] - \lambda [M]| = 0$$

Se ordenan los valores propios de menor a mayor: $\lambda_1 < \lambda_2 < \ldots < \lambda_n$.

Matriz espectral [Λ] ($\lambda_i = \omega_i^2$) – Dirección X-X (rad²/s²) :

330.73	0.000	0.000
0.000	2661.6	0.000
0.000	0.000	5563.24

Resolviendo la determinante podemos calcular la matriz modal y representar los modos de vibración:

Matriz modal [Φ] escalada ($\phi_{n,i}$=1) – Dirección X-X

0.5212	-1.1134	1.1103
0.8429	-0.2646	-1.6431
1.0000	1.0000	1.0000

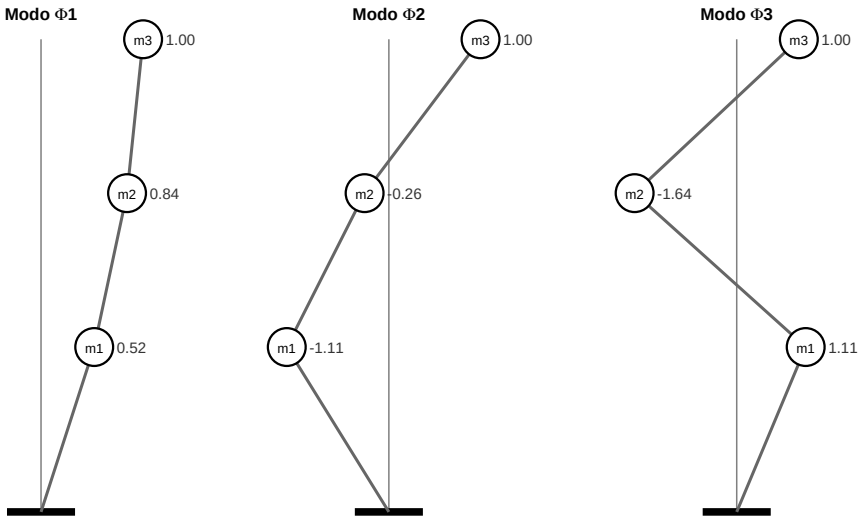


Figura 13: Modos de vibración – Dirección X-X

PASO 3: Velocidades angulares y periodos de vibración de la estructura

$$\omega_{ni} = \sqrt{\lambda_i} \qquad T_{ni} = 2\pi/\omega_{ni}$$

$\omega_{n1} = \sqrt{(\lambda_1)} = \sqrt{(330.7298)} = 18.1860$ rad/s ; $T_{n1} = 2\pi/\omega_{n1} = 0.3455$ s

$\omega_{n2} = \sqrt{(\lambda_2)} = \sqrt{(2661.5974)} = 51.5907$ rad/s ; $T_{n2} = 2\pi/\omega_{n2} = 0.1218$ s

$\omega_{n3} = \sqrt{(\lambda_3)} = \sqrt{(5563.2394)} = 74.5871$ rad/s ; $T_{n3} = 2\pi/\omega_{n3} = 0.0842$ s

PASO 4: Aceleración espectral de diseño para cada periodo T_{ni} de vibración

Se adopta el espectro de sismo de diseño DBE 10/50 (probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años) con amortiguamiento del 5% para concreto. Los parámetros utilizados son Z, U, S, T_p, T_L y R; con el factor de amplificación C definido por la Norma E.030:

$$T < T_p \qquad C = 2.5$$
$$T_p \le T \le T_L \qquad C = 2.5 \cdot T_p/T$$
$$T > T_L \qquad C = 2.5 \cdot T_p \cdot T_L/T^2$$

La aceleración espectral calculamos de acuerdo a lo señalado en el Articulo 29.2 de la Norma E.030 para distintos valores del periodo T, y de esta manera se tabula Sa en función de T

$$S_a = (Z \cdot U \cdot C \cdot S / R) \cdot g$$
$$S_a/g = Z \cdot U \cdot C \cdot S / R$$

Donde g es la gravedad: g = 9.81 m/s².

Cálculo para algunos valores de T:

$T = 0.10 \quad (T < T_p = 1.00) \rightarrow C = 2.5$

$S_a/g = (Z \cdot U \cdot C \cdot S) / R = (0.250 \cdot 1.000 \cdot 2.500 \cdot 1.400) / 8.000 =$ **0.109**

$T = 0.30 \quad (T < T_p = 1.00) \rightarrow C = 2.5$

$S_a/g = (Z \cdot U \cdot C \cdot S) / R = (0.250 \cdot 1.000 \cdot 2.500 \cdot 1.400) / 8.000 =$ **0.109**

$T = 1.00 \quad (T_p = 1.00 \le T \le T_L = 1.60) \rightarrow C = 2.5 \cdot T_p/T = 2.5 \cdot 1.00/1.00 = 2.500$

$S_a/g = (Z \cdot U \cdot C \cdot S) / R = (0.250 \cdot 1.000 \cdot 2.500 \cdot 1.400) / 8.000 =$ **0.109**

Tabla 26: Espectro de sismo de diseño DBE Sa/g (Tabla 05)

T (s)	C	Sa/g	T (s)	C	Sa/g
0.00	2.50	0.109	2.60	0.59	0.026
0.10	2.50	0.109	2.70	0.55	0.024
0.20	2.50	0.109	2.80	0.51	0.022
0.30	2.50	0.109	2.90	0.48	0.021
0.40	2.50	0.109	3.00	0.44	0.019
0.50	2.50	0.109	3.10	0.42	0.018
0.60	2.50	0.109	3.20	0.39	0.017

T (s)	C	Sa/g	T (s)	C	Sa/g
0.70	2.50	0.109	3.30	0.37	0.016
0.80	2.50	0.109	3.40	0.35	0.015
0.90	2.50	0.109	3.50	0.33	0.014
1.00	2.50	0.109	3.60	0.31	0.014
1.10	2.27	0.099	3.70	0.29	0.013
1.20	2.08	0.091	3.80	0.28	0.012
1.30	1.92	0.084	3.90	0.26	0.012
1.40	1.79	0.078	4.00	0.25	0.011
1.50	1.67	0.073	4.10	0.24	0.010
1.60	1.56	0.068	4.20	0.23	0.010
1.70	1.38	0.061	4.30	0.22	0.009
1.80	1.23	0.054	4.40	0.21	0.009
1.90	1.11	0.048	4.50	0.20	0.009
2.00	1.00	0.044	4.60	0.19	0.008
2.10	0.91	0.040	4.70	0.18	0.008
2.20	0.83	0.036	4.80	0.17	0.008
2.30	0.76	0.033	4.90	0.17	0.007
2.40	0.69	0.030	5.00	0.16	0.007
2.50	0.64	0.028	5.10	0.15	0.007

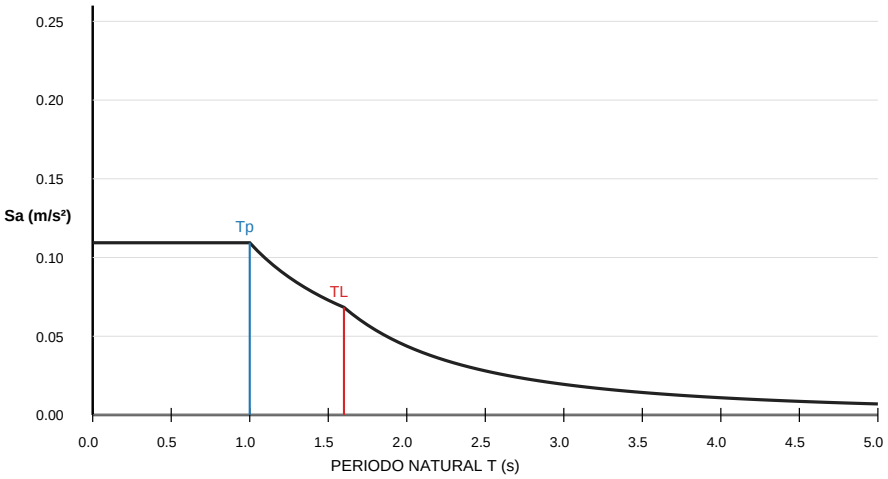


Figura 14: Espectro de sismo de diseño DBE

Con el mismo criterio determinamos la aceleración espectral con los periodos calculados en el paso 3, y tenemos los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 27: Aceleración espectral Sa para los periodos modales T_{ni} – Dirección X-X

Modo	T (s)	C	Sa/g	Sa (m/s²)
1	0.3455	2.500	0.109	1.0730
2	0.1218	2.500	0.109	1.0730
3	0.0842	2.500	0.109	1.0730

PASO 5: Factores de participación modal FP_i

Los factores de participación modal se determinan con la siguiente expresión. Aunque en el Paso 2 las formas modales se mostraron reescaladas con $\phi_{n,i} = 1$ para facilitar su lectura, a partir de este paso se emplea la matriz modal masa-normalizada para mantener coherencia numérica con las fuerzas laterales y los desplazamientos.

$$FP_i = ([\Phi_i]^T \cdot [M] \cdot [J]) / ([\Phi_i]^T \cdot [M] \cdot [\Phi_i])$$

Donde:

$[\Phi_i]$: Es el modo de vibración i, vector columna.

$[\Phi_i]^T$: Es la traspuesta al modo de vibración i, vector fila.

[M]: Matriz de masa.

[J]: Vector unitario, que depende de los niveles de la edificación.

Vector unitario [J] – Dirección X-X

$$\begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix}$$

Cálculo para el modo i = 1

$$\begin{vmatrix} 0.2897 & 0.4685 & 0.5558 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1.815 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.811 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 1.457 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 0.2897 & 0.4685 & 0.5558 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1.815 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.811 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 1.457 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0.2897 \\ 0.4685 \\ 0.5558 \end{vmatrix}$$

$FP_1 = 2.1842 / 1.0000 =$ **2.1842**

Cálculo para el modo i = 2

$$\begin{vmatrix} -0.5686 & -0.1351 & 0.5107 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1.815 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.811 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 1.457 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} -0.5686 & -0.1351 & 0.5107 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1.815 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.811 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 1.457 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} -0.5686 \\ -0.1351 \\ 0.5107 \end{vmatrix}$$

$FP_2 = -0.5327 / 1.0000 =$ **-0.5327**

Cálculo para el modo i = 3

$$\begin{vmatrix} -0.3790 & 0.5608 & -0.3413 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1.815 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.811 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 1.457 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} -0.3790 & 0.5608 & -0.3413 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1.815 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 1.811 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 1.457 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} -0.3790 \\ 0.5608 \\ -0.3413 \end{vmatrix}$$

$FP_3 = -0.1699 / 1.0000 =$ **-0.1699**

PASO 6: Matriz de fuerzas laterales [F]

Se determinan los vectores columna de fuerzas laterales con cada modo de vibración empleando:

$$[F_i] = FP_i \cdot Sa_i \cdot [M] \cdot [\Phi_i]$$

Se aplica la expresión para cada modo de vibración:

$$[F_1] = FP_1 \cdot Sa_1 \cdot [M] \cdot [\Phi_1]$$

$FP_1 = 2.1842$ $\quad Sa_1 = 1.0730$ m/s²

[M] (tnf·s²/m)

$$\begin{vmatrix} 1.8155 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.8107 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.4572 \end{vmatrix}$$

Vector modo de vibración $[\Phi_1]$

$$[\Phi_1] = \begin{vmatrix} 0.2897 \\ 0.4685 \\ 0.5558 \end{vmatrix}$$

Vector de fuerzas laterales $[F_1]$

$$[F_1] = \begin{vmatrix} 1.2325 \\ 1.9881 \\ 1.8983 \end{vmatrix} \text{ tnf}$$

$$[F_2] = FP_2 \cdot Sa_2 \cdot [M] \cdot [\Phi_2]$$

$FP_2 = -0.5327$ $\quad Sa_2 = 1.0730$ m/s²

[M] (tnf·s²/m)

$$\begin{vmatrix} 1.8155 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.8107 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.4572 \end{vmatrix}$$

Vector modo de vibración $[\Phi_2]$

$$[\Phi_2] = \begin{vmatrix} -0.5686 \\ -0.1351 \\ 0.5107 \end{vmatrix}$$

Vector de fuerzas laterales $[F_2]$

$$[F_2] = \begin{vmatrix} 0.5900 \\ 0.1398 \\ -0.4254 \end{vmatrix} \text{ tnf}$$

$$[F_3] = FP_3 \cdot Sa_3 \cdot [M] \cdot [\Phi_3]$$

$FP_3 = -0.1699$ $\quad Sa_3 = 1.0730$ m/s²

[M] (tnf·s²/m)

$$\begin{vmatrix} 1.8155 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.8107 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.4572 \end{vmatrix}$$

Vector modo de vibración $[\Phi_3]$

$$[\Phi_3] = \begin{vmatrix} -0.3790 \\ 0.5608 \\ -0.3413 \end{vmatrix}$$

Vector de fuerzas laterales [F_3]

$$[F_3] = \begin{vmatrix} 0.1254 \\ -0.1851 \\ 0.0907 \end{vmatrix} \text{ tnf}$$

Al ensamblar los vectores por modo de vibración se obtiene la matriz de fuerzas laterales [F]:

Matriz de fuerzas laterales [F] – Dirección X-X

1.2325	0.5900	0.1254
1.9881	0.1398	-0.1851
1.8983	-0.4254	0.0907

Unidades: tnf

PASO 7: Matriz de fuerzas cortantes [V] por modo

Las fuerzas cortantes V_j se obtienen, para cada modo, acumulando las fuerzas de los niveles superiores: $V_j = \sum_{k=j..n} F_k$.

$$V_1 = F_1 + F_2 + F_3$$

$$V_2 = F_2 + F_3$$

$$V_3 = F_3$$

Matriz de fuerzas cortantes [V] por modo – Dirección X-X

5.1189	0.3045	0.0310
3.8864	-0.2855	-0.0944
1.8983	-0.4254	0.0907

Unidades: tnf

PASO 8: Fuerzas cortantes máximas esperadas

Se determina el valor máximo esperado aplicando la combinación modal indicada por la Norma E.030 (29.3.4):

$$r = 0.25 \cdot \sum_{i=1..m} |r_i| + 0.75 \cdot \sqrt{\left(\sum_{i=1..m} r_i^2\right)}$$

$$V_1 = 0.25 \cdot (|V_{1,1}| + |V_{1,2}| + |V_{1,3}|) + 0.75 \cdot \sqrt{(V_{1,1}^2 + V_{1,2}^2 + V_{1,3}^2)}$$

$$V_1 = 0.25 \cdot (|5.1189| + |0.3045| + |0.0310|) + 0.75 \cdot \sqrt{((5.1189)^2 + (0.3045)^2 + (0.0310)^2)}$$

$$\mathbf{V_1 = 5.2097 \text{ tnf}}$$

$$V_2 = 0.25 \cdot (|V_{2,1}| + |V_{2,2}| + |V_{2,3}|) + 0.75 \cdot \sqrt{(V_{2,1}^2 + V_{2,2}^2 + V_{2,3}^2)}$$

$$V_2 = 0.25 \cdot (|3.8864| + |-0.2855| + |-0.0944|) + 0.75 \cdot \sqrt{((3.8864)^2 + (-0.2855)^2 + (-0.0944)^2)}$$

$$\mathbf{V_2 = 3.9901 \text{ tnf}}$$

$$V_3 = 0.25 \cdot (|V_{3,1}| + |V_{3,2}| + |V_{3,3}|) + 0.75 \cdot \sqrt{(V_{3,1}^2 + V_{3,2}^2 + V_{3,3}^2)}$$

$$V_3 = 0.25 \cdot (|1.8983| + |-0.4254| + |0.0907|) + 0.75 \cdot \sqrt{((1.8983)^2 + (-0.4254)^2 + (0.0907)^2)}$$

$$V_3 = 2.0642 \text{ tnf}$$

Fuerzas cortantes máximas esperadas por nivel:

$$[V] = \begin{vmatrix} 5.2097 \\ 3.9901 \\ 2.0642 \end{vmatrix} \text{ tnf}$$

Según el numeral 29.4.1 de la Norma E.030, la cortante basal dinámica mínima no debe ser menor que el 80% de la cortante basal estática:

$$V_{DIN} \geq 0.80 \cdot V_{EST}$$

$$V_{DIN} = 5.2097 \text{ tnf}$$

$$V_{EST} = 5.4544 \text{ tnf}$$

$$V_{DIN} \geq 0.80 \cdot V_{EST}$$

$$5.2097 \text{ tnf} \geq 0.80 \cdot 5.4544 \text{ tnf}$$

5.2097 tnf ≥ 4.3635 tnf **OK**

PASO 9: Fuerzas laterales máximas esperadas

Se determinan las fuerzas máximas de entrepiso a partir de las cortantes máximas esperadas:

$$V_3 = F_3 \rightarrow F_3 = V_3 = 2.0642 \text{ tnf}$$

$$V_2 = F_2 + F_3 \rightarrow F_2 = V_2 - V_3 = 1.9259 \text{ tnf}$$

$$V_1 = F_1 + F_2 + F_3 \rightarrow F_1 = V_1 - V_2 = 1.2196 \text{ tnf}$$

$$[F] = \begin{vmatrix} 1.2196 \\ 1.9259 \\ 2.0642 \end{vmatrix} \text{ tnf}$$

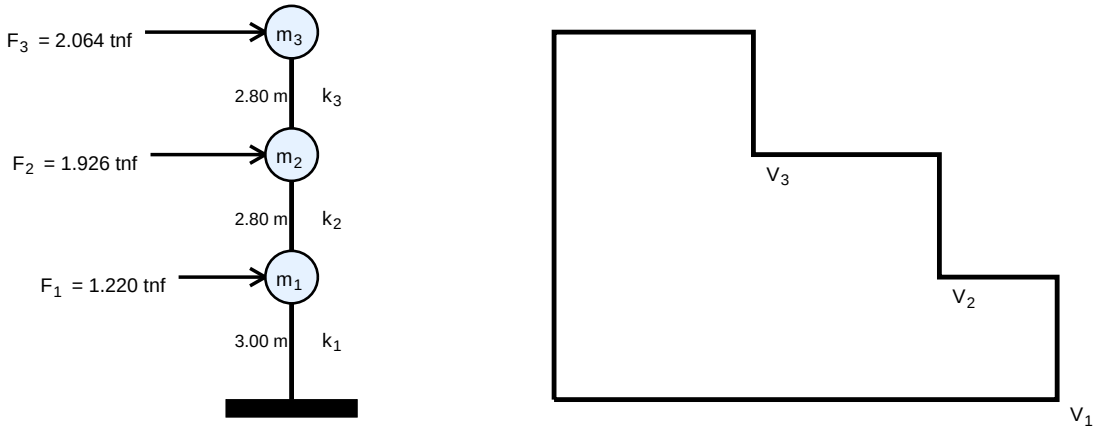


Figura 15: Fuerzas entrepiso y fuerzas cortantes – Análisis dinámico X-X

PASO 10: Matriz de desplazamientos absolutos [Δ]

Se determinan los vectores columna de desplazamientos absolutos con cada modo de vibración, para ello se emplea la siguiente expresión:

$$[\Delta_i] = (FP_i \cdot Sa_i / \omega_{ni}^2) \cdot [\Phi_i]$$

$$[\Delta_1] = \frac{FP_1 \cdot Sa_1 \text{ m/s}^2 \begin{vmatrix} 0.2897 \\ 0.4685 \\ 0.5558 \end{vmatrix}}{(18.1860 \text{ rad/s})^2}$$

$$[\Delta_1] = \begin{vmatrix} 0.002053 \\ 0.003320 \\ 0.003939 \end{vmatrix} \text{ m.}$$

$$[\Delta_2] = \frac{FP_2 \cdot Sa_2 \text{ m/s}^2 \begin{vmatrix} -0.5686 \\ -0.1351 \\ 0.5107 \end{vmatrix}}{(51.5907 \text{ rad/s})^2}$$

$$[\Delta_2] = \begin{vmatrix} 0.000122 \\ 0.000029 \\ -0.000110 \end{vmatrix} \text{ m.}$$

$$[\Delta_3] = \frac{FP_3 \cdot Sa_3 \text{ m/s}^2 \begin{vmatrix} -0.3790 \\ 0.5608 \\ -0.3413 \end{vmatrix}}{(74.5871 \text{ rad/s})^2}$$

$$[\Delta_3] = \begin{vmatrix} 0.000012 \\ -0.000018 \\ 0.000011 \end{vmatrix} \text{ m.}$$

Calculado los vectores columna de desplazamientos absolutos por cada modo de vibración, se agrupan en la siguiente matriz [Δ]:

$$[\Delta] = \begin{vmatrix} 0.002053 & 0.000122 & 0.000012 \\ 0.003320 & 0.000029 & -0.000018 \\ 0.003939 & -0.000110 & 0.000011 \end{vmatrix} \text{ m.}$$

PASO 11: Desplazamientos absolutos máximos esperados

Se determinan los valores máximos esperados de los desplazamientos absolutos de cada entrepiso, aplicando el mismo criterio de combinación modal del paso 8°:

$$r = 0.25 \cdot \sum_{i=1..m} |r_i| + 0.75 \cdot \sqrt{\left(\sum_{i=1..m} r_i^2\right)}$$

Para desplazamientos absolutos por nivel j:

$$\Delta_j = 0.25 \cdot \sum_{i=1..m} |\Delta_{j,i}| + 0.75 \cdot \sqrt{\left(\sum_{i=1..m} \Delta_{j,i}^2\right)}$$

$$\Delta_1 = 0.25 \cdot (|\Delta_{1,1}| + |\Delta_{1,2}| + |\Delta_{1,3}|) + 0.75 \cdot \sqrt{(\Delta_{1,1}^2 + \Delta_{1,2}^2 + \Delta_{1,3}^2)}$$

$$\Delta_1 = 0.25 \cdot (|0.002053| + |0.000122| + |0.000012|) + 0.75 \cdot \sqrt{((0.002053)^2 + (0.000122)^2 + (0.000012)^2)}$$

$$\Delta_1 = 0.0021 \text{ m}$$

$$\Delta_2 = 0.25 \cdot (|\Delta_{2,1}| + |\Delta_{2,2}| + |\Delta_{2,3}|) + 0.75 \cdot \sqrt{(\Delta_{2,1}^2 + \Delta_{2,2}^2 + \Delta_{2,3}^2)}$$

$$\Delta_2 = 0.25 \cdot (|0.003320| + |0.000029| + |-0.000018|) + 0.75 \cdot \sqrt{((0.003320)^2 + (0.000029)^2 + (-0.000018)^2)}$$

$$\Delta_2 = 0.0033 \text{ m}$$

$$\Delta_3 = 0.25 \cdot (|\Delta_{3,1}| + |\Delta_{3,2}| + |\Delta_{3,3}|) + 0.75 \cdot \sqrt{(\Delta_{3,1}^2 + \Delta_{3,2}^2 + \Delta_{3,3}^2)}$$

$$\Delta_3 = 0.25 \cdot (|0.003939| + |-0.000110| + |0.000011|) + 0.75 \cdot \sqrt{((0.003939)^2 + (-0.000110)^2 + (0.000011)^2)}$$

$$\Delta_3 = 0.0040 \text{ m}$$

Los desplazamientos absolutos máximos esperados de cada nivel son:

$$[\Delta] = \begin{vmatrix} 0.0021 \\ 0.0033 \\ 0.0040 \end{vmatrix} \text{ m}$$

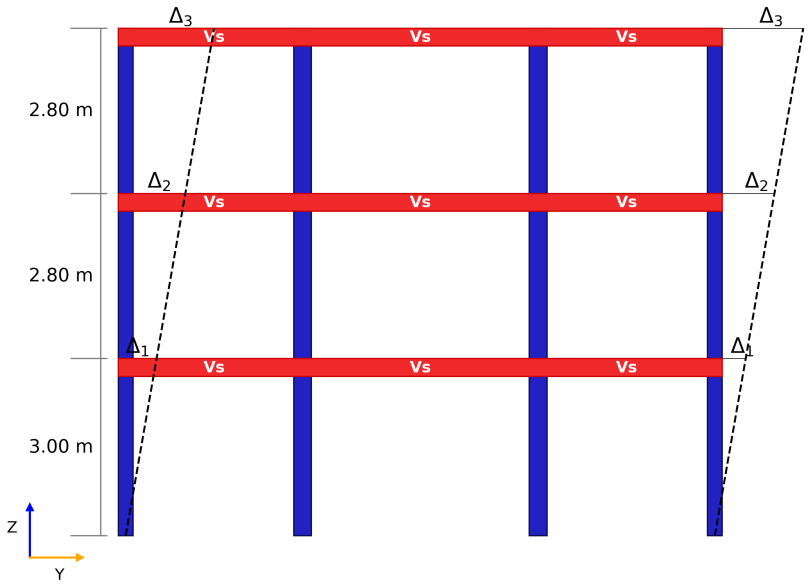


Figura 16: Vista de perfil X–Z (desplazamientos máximos) – Análisis dinámico X-X

PASO 12: Desplazamientos relativos, derivas (distorsiones) y control de derivas

Una vez determinados los desplazamientos absolutos máximos esperados Δ_i, se obtienen los desplazamientos relativos laterales δ_i y las derivas β_i:

$$\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}, \quad \beta_i = \delta_i / h_i$$

$$\delta_1 = \Delta_1 - 0 = 0.0021 \text{ m}$$

$$\delta_2 = \Delta_2 - \Delta_1 = 0.0033 - 0.0021 = 0.0012 \text{ m}$$

$$\delta_3 = \Delta_3 - \Delta_2 = 0.0040 - 0.0033 = 0.0006 \text{ m}$$

$$\beta_1 = 0.0021 / 3.00 = 0.0007$$

$$\beta_2 = 0.0012 / 2.80 = 0.0004$$

$$\beta_3 = 0.0006 / 2.80 = 0.0002$$

Tabla 28: Control de derivas – Análisis plano dinámico X-X (NTE E.030)

Nivel	Δ_i (m)	δ_i (m)	Altura h_i (m)	β_i	$\beta \times 0.75\ R$ (R=8)	Límite	Observación
1	0.0021	0.0021	3.00	0.0007	0.0042	0.007	OK
2	0.0033	0.0012	2.80	0.0004	0.0027	0.007	OK
3	0.0040	0.0006	2.80	0.0002	0.0014	0.007	OK

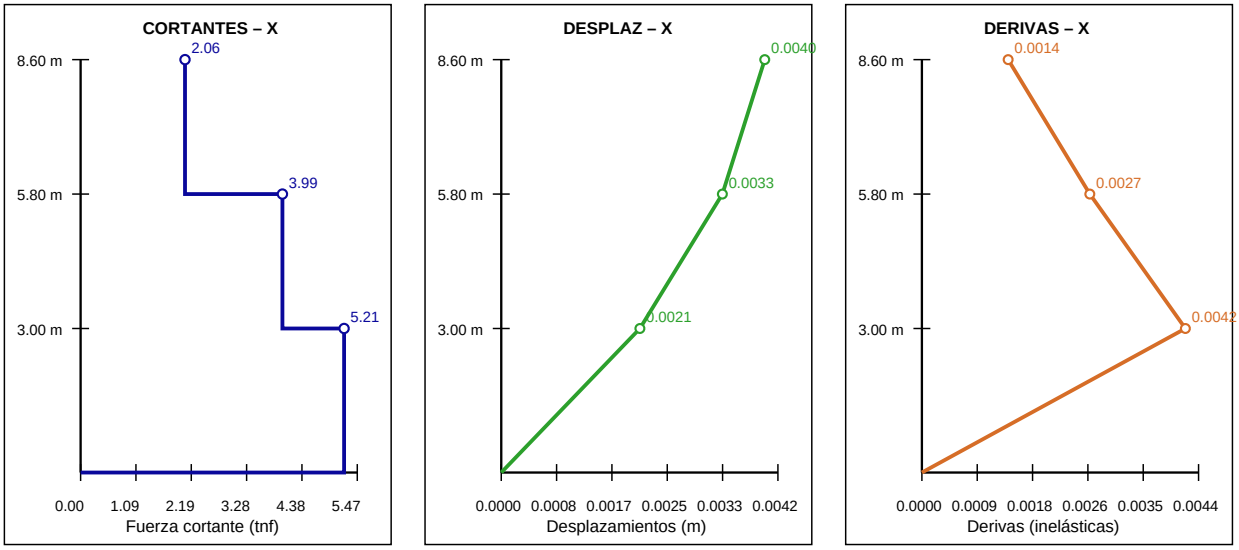


Figura 17: Respuestas frente al sismo DBE, sentido X-X

3.4. Análisis estático plano en dirección Y-Y

PASO 1: Metrado de cargas

Metrado de Carga Muerta (CM):

Figura 18: Altura de peso por niveles en dirección X-X

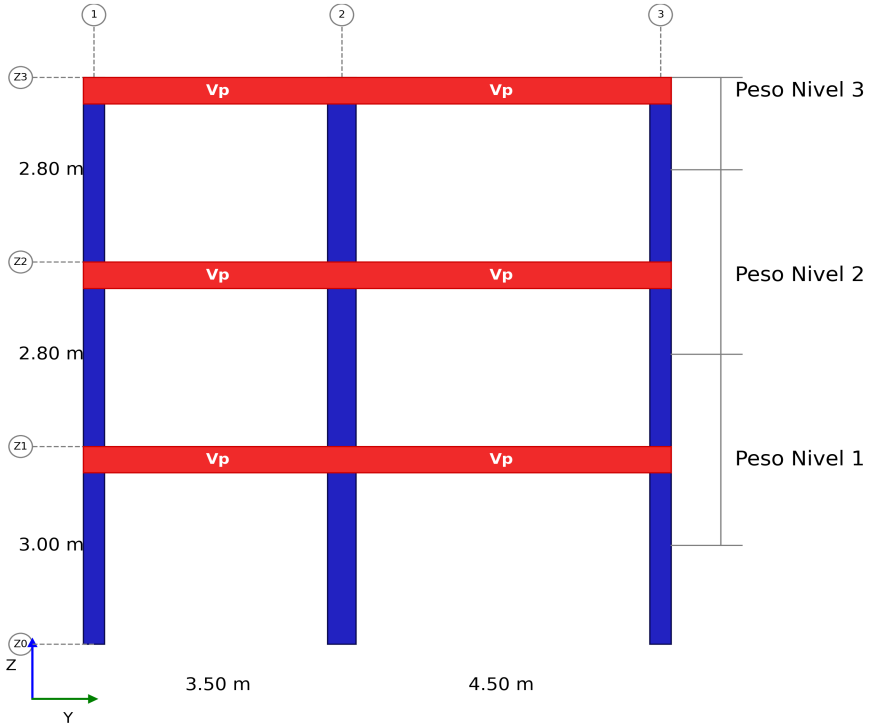


Tabla 29: Carga muerta - Nivel 1 (Y)

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Acabado	1	28.00	-	0.100	2.80

Tabiquería típica	1	28.00	-	0.100	2.80
Losa aligerada	1	24.37	-	0.423	10.31

Descripción	#pisos	Sección (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m³)	Peso (tnf)
Vigas Y-Y	1	0.100	7.30	2.400	1.75
Vigas X-X	1	0.075	6.45	2.400	1.16
Col. Central	1	0.120	2.90	2.400	0.84
Col. Perimetral	1	0.075	2.90	2.400	0.52
Muros X-X	1	-	6.45	0.000tonf/m	0.00
Muros Y-Y	1	-	7.30	0.000tonf/m	0.00
Carga muerta Piso 1					**20.19**

Tabla 30: Carga muerta - Nivel 2 (Y)

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Acabado	1	28.00	-	0.100	2.80
Tabiquería típica	1	28.00	-	0.100	2.80
Losa aligerada	1	24.37	-	0.423	10.31

Descripción	#pisos	Sección (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m³)	Peso (tnf)
Vigas Y-Y	1	0.100	7.30	2.400	1.75
Vigas X-X	1	0.075	6.45	2.400	1.16
Col. Central	1	0.120	2.80	2.400	0.81
Col. Perimetral	1	0.075	2.80	2.400	0.50
Muros X-X	1	-	6.45	0.000tonf/m	0.00
Muros Y-Y	1	-	7.30	0.000tonf/m	0.00
Carga muerta Piso 2					**20.14**

Tabla 31: Carga muerta - Nivel 3 (Y)

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Acabado	1	28.00	-	0.100	2.80
Tabiquería típica	0	28.00	-	0.100	0.00
Losa aligerada	1	24.37	-	0.423	10.31

Descripción	#pisos	Sección (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m³)	Peso (tnf)
Vigas Y-Y	1	0.100	7.30	2.400	1.75
Vigas X-X	1	0.075	6.45	2.400	1.16
Col. Central	1	0.120	1.40	2.400	0.40
Col. Perimetral	1	0.075	1.40	2.400	0.25
Carga muerta Piso 3					**16.68**

Total Carga Muerta en Y-Y	**57.01**

Metrado de Carga Viva (CV):

Tabla 32: Metrado de Carga Viva (CV) – Dirección Y

Descripción	#pisos	Área (m²)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Sobrecarga típica	2	28.00	-	0.200	11.20
Sobrecarga último nivel	1	28.00	-	0.100	2.80
Total Carga Viva en Y-Y					**14.00**

Peso total de la edificación: $P_T = P_{CM} + 25\%P_{CV}$

De acuerdo al Art. 26 incisos b) y d) de la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente, para la estimación del peso consideramos el 25% de la carga viva más el 100% de la carga muerta.

Peso total Y-Y, P_T = 60.51 tnf

PASO 2: Fuerza cortante basal V

Artículo 22 de la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente, Coeficiente de reducción de las Fuerzas Sísmicas, R=8 (Sin irregularidades):

$$\frac{C}{R} \geq 0.11$$

Artículo 14 de la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente, Factor de Amplificación Sísmica (C):

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

$$T_p \leq T \leq T_L \quad \Rightarrow \quad C = 2.5 \cdot \frac{T_P}{T}$$

$$T > T_L \quad \Rightarrow \quad C = 2.5 \cdot \frac{T_P \cdot T_L}{T^2}$$

Artículo 28.4.1 de la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente, Periodo Fundamental de Vibración:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde:

- C_T es un coeficiente de acuerdo al sistema estructural, y en este caso, para pórticos de concreto armado es igual a 35

- h_n es la altura total de la edificación

Tabla 33: Parámetros sísmicos y cortante basal – Dirección Y-Y

Parámetro	Valor
P_T (tnf)	60.507
Z · U · S	0.250 · 1.000 · 1.400 = 0.350
C	2.500 (T=0.246 s, T_P=1.0, T_L=1.6)
R	8.000
C/R	0.312 (≥ 0.11)
Factor usado	0.312
V (tnf)	6.618

Cortante basal Y-Y, V = 6.62 tnf

PASO 3: Distribución de fuerza sísmica por altura

Artículo 28.3 de la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente:

Las fuerzas sísmicas horizontales en cualquier nivel i, correspondientes a la dirección considerada, se calculan mediante:

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

$$\alpha_i = \frac{P_i \, h_i^k}{\sum_{j=1}^{n} P_j \, h_j^k}$$

Donde:

Pi: Peso del nivel i

Pj: Peso del nivel j

hi: Altura del nivel i

hj: Altura del nivel j

El valor del exponente k depende del periodo fundamental de vibración 'T', de acuerdo a:

- Para T menor o igual a 0,5 segundos: k = 1,0.

- Para T mayor que 0,5 segundos: k = (0,75 + 0,5 T) ≤ 2,0.

Tabla 34: Distribución por piso – Dirección Y-Y

Nivel i	P_i (tnf)	h_i (m)	k	α_i	F_i (tnf)	V_i (tnf)
1	21.585	3.000	1.0	0.191	1.264	6.618
2	21.538	5.800	1.0	0.368	2.437	5.354
3	17.383	8.600	1.0	0.441	2.917	2.917

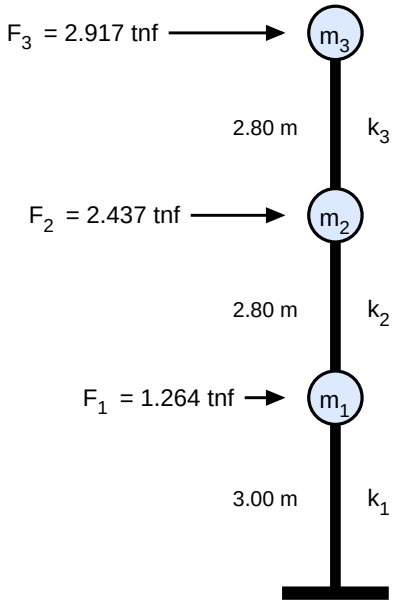


Figura 19: Fuerzas laterales F_i, alturas h_i y rigideces k_i – Dirección Y-Y

PASO 4: Desplazamientos absolutos Δ

Para este análisis se consideran las columnas axialmente rígidas, y las vigas totalmente rígidas, generándose un edificio de corte, asimismo, consideramos un grado de libertad lateral por cada piso.

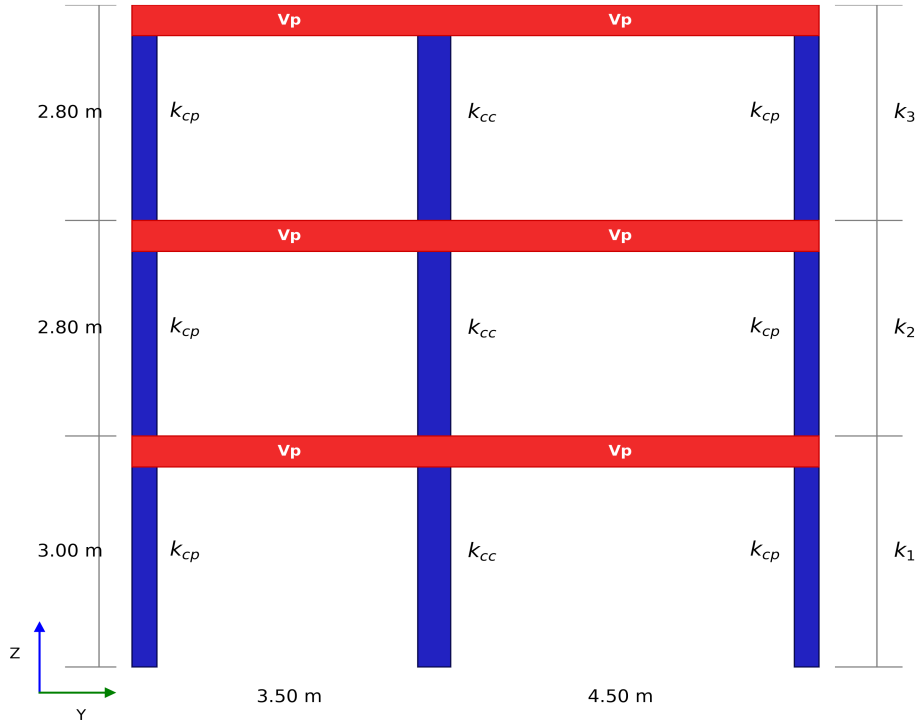


Figura 20: Edificio de corte en dirección Y-Y

La matriz de rigidez para el presente edificio de corte es:

$$[K] = \begin{vmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_1 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_2 & k_3 \end{vmatrix}$$

Donde k_i es la rigidez correspondiente al nivel i, y éste está conformado por la rigidez total de las columnas en dicho nivel

La rigidez que aporta cada columna está determinado por la ecuación:

$$k_{col} = \frac{12 \cdot E \cdot I}{H^3}$$

E = Módulo de elasticidad del concreto : $15000 \cdot \sqrt{(f'_c)}$

I = Momento de inercia de columna : $\frac{b \cdot h^3}{12}$

H = Altura de la columna

Las ecuaciones que relacionan rigidez, fuerzas y desplazamientos: $[K] \cdot [\Delta] = [F]$

Matriz de rigidez total, [K] en (tnf/m):

$$\begin{vmatrix} 5870.583 & -3237.983 & 0.000 \\ -3237.983 & 6475.966 & -3237.983 \\ 0.000 & -3237.983 & 3237.983 \end{vmatrix}$$

Vector de fuerzas laterales, [F] en (tnf):

$$\begin{vmatrix} 1.264 \\ 2.437 \\ 2.917 \end{vmatrix}$$

Vector de desplazamientos absolutos, [Δ] en (m):

Los desplazamientos se calculan multiplicando la inversa de la matriz de rigidez por el vector fuerzas, $[\Delta] = [K]^{-1}[F]$

$$\begin{vmatrix} 0.002514 \\ 0.004167 \\ 0.005068 \end{vmatrix}$$

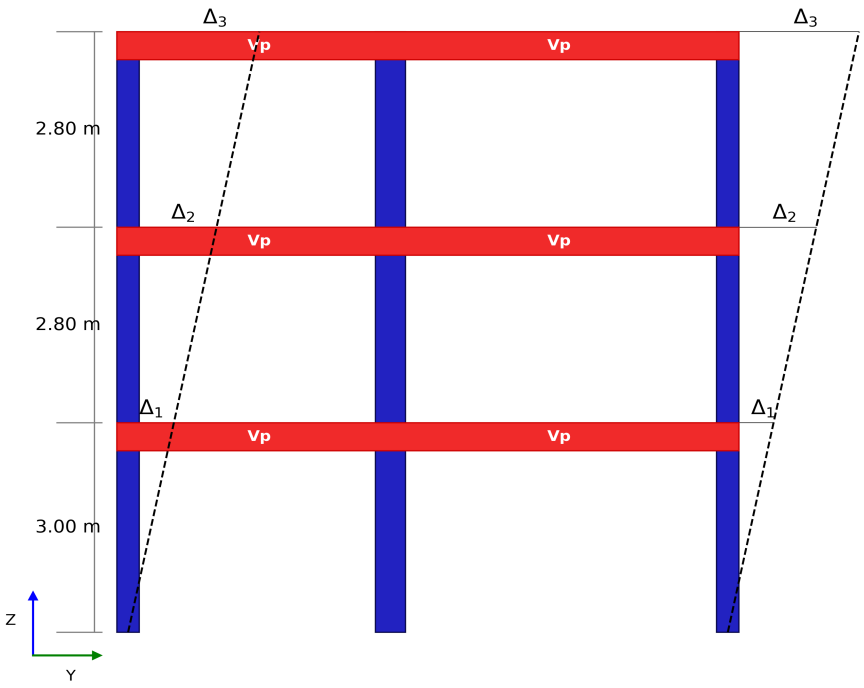


Figura 21: Desplazamientos absolutos de entrepiso - Análisis estático Y-Y

PASO 5: Desplazamientos relativos, derivas (distorsiones) y control

Con los desplazamientos absolutos calculados en cada entrepiso, procedemos a determinar los desplazamientos relativos y posteriormente calcular las derivas (o distorsiones) para que finalmente se verifique de acuerdo a lo que estipula la N.T.P. E.030 - Diseño Sismorresistente, en su Artículo 32 (Tabla N°11).

$$\delta_1 = \Delta_1 - \Delta_0 = 0.0025 - 0.0000 = 0.0025 \text{ m}$$
$$\delta_2 = \Delta_2 - \Delta_1 = 0.0042 - 0.0025 = 0.0017 \text{ m}$$
$$\delta_3 = \Delta_3 - \Delta_2 = 0.0051 - 0.0042 = 0.0009 \text{ m}$$

$$\beta_i = \frac{\delta_i}{H_i}$$

Donde δ_i es el desplazamiento relativo del nivel i y H_i es la altura del nivel.

$$\beta_1 = \frac{0.0025}{3.000} = 0.0008$$

$$\beta_2 = \frac{0.0017}{2.800} = 0.0006$$

$$\beta_3 = \frac{0.0009}{2.800} = 0.0003$$

Finalmente, las distorsiones calculadas deben ser multiplicadas por 0.75R para su verificación final, y se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 35: Control de derivas – Dirección Y-Y (E.030)

Nivel i	δ_i (m)	h_i (m)	β_i	$\beta_i \cdot 0.75 \cdot R$	Límite	Control
1	0.00251	3.000	0.0008	0.0050	0.0070	OK
2	0.00165	2.800	0.0006	0.0035	0.0070	OK
3	0.00090	2.800	0.0003	0.0019	0.0070	OK

3.5. Análisis dinámico plano en dirección Y-Y

Se considera amortiguamiento modal $\xi = 5\%$ y combinación SRSS.

PASO 1: Matriz de Rigidez, Vector de Pesos y Matriz de Masas – Y-Y

La matriz de rigidez proviene del análisis estático. El peso por nivel se obtiene como $P_i = CM_i + 0.25 \cdot CV_i$. La matriz de masas se forma con $m_i = P_i/g$.

$$\begin{vmatrix} 5870.583 & -3237.983 & 0.000 \\ -3237.983 & 6475.966 & -3237.983 \\ 0.000 & -3237.983 & 3237.983 \end{vmatrix}$$

Tabla 36: Resumen de pesos por nivel – Dirección Y-Y

Nivel i	CM_i (tnf)	CV_i (tnf)	$0.25 \cdot CV_i$ (tnf)	$P_i = CM + 0.25 \cdot CV$ (tnf)
1	20.185	5.600	1.400	21.585
2	20.138	5.600	1.400	21.538
3	16.683	2.800	0.700	17.383

Vector de pesos por nivel P – Dirección X-X (tnf):

$$\begin{vmatrix} 21.585 \\ 21.538 \\ 17.383 \end{vmatrix}$$

Matriz de masas diagonal:

$$[M] = \text{diag}(m_1, m_2, \ldots, m_n)$$

Cálculo de cada masa por nivel:

$$m_i = P_i / g$$

Matriz de masas [M] – Dirección X-X (tn·s²/m):

$$\begin{vmatrix} 2.200322 & 0.000000 & 0.000000 \\ 0.000000 & 2.195551 & 0.000000 \\ 0.000000 & 0.000000 & 1.771983 \end{vmatrix}$$

PASO 2: Valores propios [λ] y vectores propios (modos de vibración), matriz modal [Φ] – Y-Y

$$[[K] - \lambda [M]] [\Phi] = [0]$$

Lo que se desea es encontrar los valores propios λ_i y luego las formas modales Φ_i, resolviendo la determinante:

$$|[K] - \lambda [M]| = 0$$

Se ordenan los valores propios de menor a mayor: $\lambda_1 < \lambda_2 < \ldots < \lambda_n$.

Matriz espectral $[\Lambda]$ ($\lambda_i = \omega_i^2$) – Dirección Y-Y (rad²/s²) :

287.602	0.000	0.000
0.000	2315.45	0.000
0.000	0.000	4841.91

Resolviendo la determinante podemos calcular la matriz modal y representar los modos de vibración:

Matriz modal $[\Phi]$ escalada ($\phi_{n,i}$=1) – Dirección Y-Y

0.5209	-1.1149	1.1168
0.8426	-0.2671	-1.6497
1.0000	1.0000	1.0000

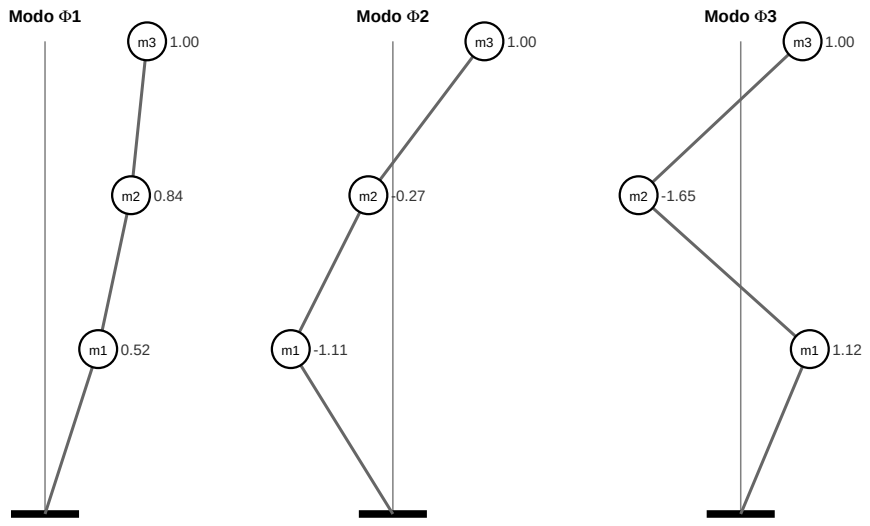


Figura 22: Modos de vibración – Dirección Y-Y

PASO 3: Velocidades angulares y periodos de vibración de la estructura

$$\omega_{ni} = \sqrt{\lambda_i} \qquad T_{ni} = 2\pi/\omega_{ni}$$

$$\omega_{n1} = \sqrt{(\lambda_1)} = \sqrt{(287.6022)} = 16.9588 \text{ rad/s} \quad ; \quad T_{n1} = 2\pi/\omega_{n1} = 0.3705 \text{ s}$$

$$\omega_{n2} = \sqrt{(\lambda_2)} = \sqrt{(2315.4514)} = 48.1191 \text{ rad/s} \quad ; \quad T_{n2} = 2\pi/\omega_{n2} = 0.1306 \text{ s}$$

$$\omega_{n3} = \sqrt{(\lambda_3)} = \sqrt{(4841.9096)} = 69.5838 \text{ rad/s} \quad ; \quad T_{n3} = 2\pi/\omega_{n3} = 0.0903 \text{ s}$$

PASO 4: Aceleración espectral de diseño para cada periodo T_{ni} de vibración

Se adopta el espectro de sismo de diseño DBE 10/50 (probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años) con amortiguamiento del 5% para concreto. Los parámetros utilizados son Z, U, S, T_p, T_L y R; con el factor de amplificación C definido por la Norma E.030:

$$\begin{aligned} T < T_p &\qquad C = 2.5 \\ T_p \le T \le T_L &\qquad C = 2.5 \cdot T_p / T \\ T > T_L &\qquad C = 2.5 \cdot T_p \cdot T_L / T^2 \end{aligned}$$

La aceleración espectral calculamos de acuerdo a lo señalado en el Articulo 29.2 de la Norma E.030 para distintos valores del periodo T, y de esta manera se tabula Sa en función de T

$$S_a = (Z \cdot U \cdot C \cdot S / R) \cdot g$$
$$S_a/g = Z \cdot U \cdot C \cdot S / R$$

Donde g es la gravedad: g = 9.81 m/s².

Cálculo para algunos valores de T:

$$T = 0.10 \quad (T < T_p = 1.00) \rightarrow C = 2.5$$
$$S_a/g = (Z \cdot U \cdot C \cdot S) / R = (0.250 \cdot 1.000 \cdot 2.500 \cdot 1.400) / 8.000 = \mathbf{0.109}$$

$$T = 0.30 \quad (T < T_p = 1.00) \rightarrow C = 2.5$$
$$S_a/g = (Z \cdot U \cdot C \cdot S) / R = (0.250 \cdot 1.000 \cdot 2.500 \cdot 1.400) / 8.000 = \mathbf{0.109}$$

$$T = 1.00 \quad (T_p = 1.00 \le T \le T_L = 1.60) \rightarrow C = 2.5 \cdot T_p / T = 2.5 \cdot 1.00 / 1.00 = 2.500$$
$$S_a/g = (Z \cdot U \cdot C \cdot S) / R = (0.250 \cdot 1.000 \cdot 2.500 \cdot 1.400) / 8.000 = \mathbf{0.109}$$

Tabla 37: Espectro de sismo de diseño DBE Sa/g (Tabla 05)

T (s)	C	Sa/g	T (s)	C	Sa/g
0.00	2.50	0.109	2.60	0.59	0.026
0.10	2.50	0.109	2.70	0.55	0.024
0.20	2.50	0.109	2.80	0.51	0.022
0.30	2.50	0.109	2.90	0.48	0.021
0.40	2.50	0.109	3.00	0.44	0.019
0.50	2.50	0.109	3.10	0.42	0.018
0.60	2.50	0.109	3.20	0.39	0.017
0.70	2.50	0.109	3.30	0.37	0.016
0.80	2.50	0.109	3.40	0.35	0.015
0.90	2.50	0.109	3.50	0.33	0.014
1.00	2.50	0.109	3.60	0.31	0.014

T (s)	C	Sa/g	T (s)	C	Sa/g
1.10	2.27	0.099	3.70	0.29	0.013
1.20	2.08	0.091	3.80	0.28	0.012
1.30	1.92	0.084	3.90	0.26	0.012
1.40	1.79	0.078	4.00	0.25	0.011
1.50	1.67	0.073	4.10	0.24	0.010
1.60	1.56	0.068	4.20	0.23	0.010
1.70	1.38	0.061	4.30	0.22	0.009
1.80	1.23	0.054	4.40	0.21	0.009
1.90	1.11	0.048	4.50	0.20	0.009
2.00	1.00	0.044	4.60	0.19	0.008
2.10	0.91	0.040	4.70	0.18	0.008
2.20	0.83	0.036	4.80	0.17	0.008
2.30	0.76	0.033	4.90	0.17	0.007
2.40	0.69	0.030	5.00	0.16	0.007
2.50	0.64	0.028	5.10	0.15	0.007

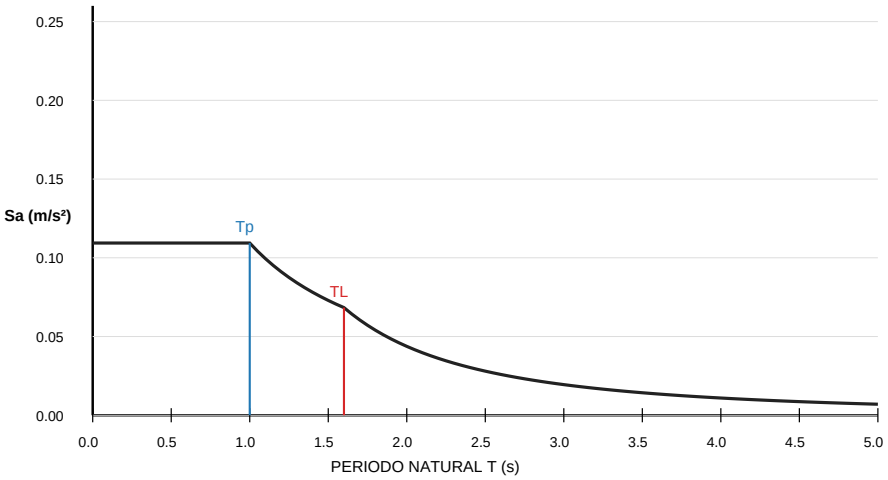


Figura 23: Espectro de sismo de diseño DBE

Con el mismo criterio determinamos la aceleración espectral con los periodos calculados en el paso 3, y tenemos los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 38: Aceleración espectral Sa para los periodos modales T_{ni} – Dirección Y-Y

Modo	T (s)	C	Sa/g	Sa (m/s²)
1	0.3705	2.500	0.109	1.0730
2	0.1306	2.500	0.109	1.0730
3	0.0903	2.500	0.109	1.0730

PASO 5: Factores de participación modal FP_i

Los factores de participación modal se determinan con la siguiente expresión. Aunque en el Paso 2 las formas modales se mostraron reescaladas con $\phi_{n,i} = 1$ para facilitar su lectura, a partir de este paso se emplea la matriz modal masa-normalizada para mantener coherencia numérica con las fuerzas laterales y los desplazamientos.

$$FP_i = ([\Phi_i]^T \cdot [M] \cdot [J]) / ([\Phi_i]^T \cdot [M] \cdot [\Phi_i])$$

Donde:

[Φ_i]: Es el modo de vibración i, vector columna.

[Φ_i]^T: Es la traspuesta al modo de vibración i, vector fila.

[M]: Matriz de masa.

[J]: Vector unitario, que depende de los niveles de la edificación.

Vector unitario [J] – Dirección Y-Y

$$\begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix}$$

Cálculo para el modo i = 1

$$\begin{vmatrix} 0.2628 & 0.4252 & 0.5046 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 2.200 & 0.000 & 0.000 & 1 \\ 0.000 & 2.196 & 0.000 & 1 \\ 0.000 & 0.000 & 1.772 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} 0.2628 & 0.4252 & 0.5046 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 2.200 & 0.000 & 0.000 & 0.2628 \\ 0.000 & 2.196 & 0.000 & 0.4252 \\ 0.000 & 0.000 & 1.772 & 0.5046 \end{vmatrix}$$

FP_1 = 2.4059 / 1.0000 = **2.4059**

Cálculo para el modo i = 2

$$\begin{vmatrix} -0.5163 & -0.1237 & 0.4631 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 2.200 & 0.000 & 0.000 & 1 \\ 0.000 & 2.196 & 0.000 & 1 \\ 0.000 & 0.000 & 1.772 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} -0.5163 & -0.1237 & 0.4631 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 2.200 & 0.000 & 0.000 & -0.5163 \\ 0.000 & 2.196 & 0.000 & -0.1237 \\ 0.000 & 0.000 & 1.772 & 0.4631 \end{vmatrix}$$

FP_2 = -0.5870 / 1.0000 = **-0.5870**

Cálculo para el modo i = 3

$$\begin{vmatrix} -0.3448 & 0.5093 & -0.3087 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 2.200 & 0.000 & 0.000 & 1 \\ 0.000 & 2.196 & 0.000 & 1 \\ 0.000 & 0.000 & 1.772 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} -0.3448 & 0.5093 & -0.3087 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 2.200 & 0.000 & 0.000 & -0.3448 \\ 0.000 & 2.196 & 0.000 & 0.5093 \\ 0.000 & 0.000 & 1.772 & -0.3087 \end{vmatrix}$$

FP_3 = -0.1875 / 1.0000 = **-0.1875**

PASO 6: Matriz de fuerzas laterales [F]

Se determinan los vectores columna de fuerzas laterales con cada modo de vibración empleando:

$$[F_i] = FP_i \cdot Sa_i \cdot [M] \cdot [\Phi_i]$$

Se aplica la expresión para cada modo de vibración:

$$[F_1] = FP_1 \cdot Sa_1 \cdot [M] \cdot [\Phi_1]$$

$FP_1 = 2.4059$ $Sa_1 = 1.0730\ m/s^2$

[M] (tnf·s²/m)

$$\begin{vmatrix} 2.2003 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 2.1956 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.7720 \end{vmatrix}$$

Vector modo de vibración $[\Phi_1]$

$$[\Phi_1] = \begin{vmatrix} 0.2628 \\ 0.4252 \\ 0.5046 \end{vmatrix}$$

Vector de fuerzas laterales $[F_1]$

$$[F_1] = \begin{vmatrix} 1.4929 \\ 2.4096 \\ 2.3080 \end{vmatrix} \text{ tnf}$$

$$[F_2] = FP_2 \cdot Sa_2 \cdot [M] \cdot [\Phi_2]$$

$FP_2 = -0.5870$ $Sa_2 = 1.0730\ m/s^2$

[M] (tnf·s²/m)

$$\begin{vmatrix} 2.2003 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 2.1956 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.7720 \end{vmatrix}$$

Vector modo de vibración $[\Phi_2]$

$$[\Phi_2] = \begin{vmatrix} -0.5163 \\ -0.1237 \\ 0.4631 \end{vmatrix}$$

Vector de fuerzas laterales $[F_2]$

$$[F_2] = \begin{vmatrix} 0.7154 \\ 0.1710 \\ -0.5168 \end{vmatrix} \text{ tnf}$$

$$[F_3] = FP_3 \cdot Sa_3 \cdot [M] \cdot [\Phi_3]$$

$FP_3 = -0.1875$ $Sa_3 = 1.0730\ m/s^2$

[M] (tnf·s²/m)

$$\begin{vmatrix} 2.2003 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 2.1956 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.7720 \end{vmatrix}$$

Vector modo de vibración $[\Phi_3]$

$$[\Phi_3] = \begin{vmatrix} -0.3448 \\ 0.5093 \\ -0.3087 \end{vmatrix}$$

Vector de fuerzas laterales $[F_3]$

$$[F_3] = \begin{vmatrix} 0.1526 \\ -0.2249 \\ 0.1100 \end{vmatrix} \text{ tnf}$$

Al ensamblar los vectores por modo de vibración se obtiene la matriz de fuerzas laterales [F]:

Matriz de fuerzas laterales [F] – Dirección Y-Y

1.4929	0.7154	0.1526
2.4096	0.1710	-0.2249
2.3080	-0.5168	0.1100

Unidades: tnf

PASO 7: Matriz de fuerzas cortantes [V] por modo

Las fuerzas cortantes V_j se obtienen, para cada modo, acumulando las fuerzas de los niveles superiores: $V_j = \sum_{k=j..n} F_k$.

$$V_1 = F_1 + F_2 + F_3$$

$$V_2 = F_2 + F_3$$

$$V_3 = F_3$$

Matriz de fuerzas cortantes [V] por modo – Dirección Y-Y

6.2105	0.3697	0.0377
4.7177	-0.3457	-0.1149
2.3080	-0.5168	0.1100

Unidades: tnf

PASO 8: Fuerzas cortantes máximas esperadas

Se determina el valor máximo esperado aplicando la combinación modal indicada por la Norma E.030 (29.3.4):

$$r = 0.25 \cdot \sum_{i=1..m} |r_i| \quad + \quad 0.75 \cdot \sqrt{\left(\sum_{i=1..m} r_i^2\right)}$$

$$V_1 = 0.25 \cdot (|V_{1,1}| + |V_{1,2}| + |V_{1,3}|) + 0.75 \cdot \sqrt{(V_{1,1}^2 + V_{1,2}^2 + V_{1,3}^2)}$$

$$V_1 = 0.25 \cdot (|6.2105| + |0.3697| + |0.0377|) + 0.75 \cdot \sqrt{((6.2105)^2 + (0.3697)^2 + (0.0377)^2)}$$

$$\mathbf{V_1 = 6.3207 \text{ tnf}}$$

$$V_2 = 0.25 \cdot (|V_{2,1}| + |V_{2,2}| + |V_{2,3}|) + 0.75 \cdot \sqrt{(V_{2,1}^2 + V_{2,2}^2 + V_{2,3}^2)}$$

$$V_2 = 0.25 \cdot (|4.7177| + |-0.3457| + |-0.1149|) + 0.75 \cdot \sqrt{((4.7177)^2 + (-0.3457)^2 + (-0.1149)^2)}$$

$$\mathbf{V_2 = 4.8434 \text{ tnf}}$$

$$V_3 = 0.25 \cdot (|V_{3,1}| + |V_{3,2}| + |V_{3,3}|) + 0.75 \cdot \sqrt{(V_{3,1}^2 + V_{3,2}^2 + V_{3,3}^2)}$$

$$V_3 = 0.25 \cdot (|2.3080| + |-0.5168| + |0.1100|) + 0.75 \cdot \sqrt{((2.3080)^2 + (-0.5168)^2 + (0.1100)^2)}$$

$$\mathbf{V_3 = 2.5095 \text{ tnf}}$$

Fuerzas cortantes máximas esperadas por nivel:

$$[V] = \begin{vmatrix} 6.3207 \\ 4.8434 \\ 2.5095 \end{vmatrix} \text{ tnf}$$

Según el numeral 29.4.1 de la Norma E.030, la cortante basal dinámica mínima no debe ser menor que el 80% de la cortante basal estática:

$$V_{DIN} \geq 0.80 \cdot V_{EST}$$

$$V_{DIN} = 6.3207 \text{ tnf}$$

$$V_{EST} = 6.6179 \text{ tnf}$$

$$V_{DIN} \geq 0.80 \cdot V_{EST}$$

$$6.3207 \text{ tnf} \geq 0.80 \cdot 6.6179 \text{ tnf}$$

6.3207 tnf ≥ 5.2943 tnf **OK**

PASO 9: Fuerzas laterales máximas esperadas

Se determinan las fuerzas máximas de entrepiso a partir de las cortantes máximas esperadas:

$$V_3 = F_3 \rightarrow F_3 = V_3 = 2.5095 \text{ tnf}$$

$$V_2 = F_2 + F_3 \rightarrow F_2 = V_2 - V_3 = 2.3338 \text{ tnf}$$

$$V_1 = F_1 + F_2 + F_3 \rightarrow F_1 = V_1 - V_2 = 1.4774 \text{ tnf}$$

$$[F] = \begin{vmatrix} 1.4774 \\ 2.3338 \\ 2.5095 \end{vmatrix} \text{ tnf}$$

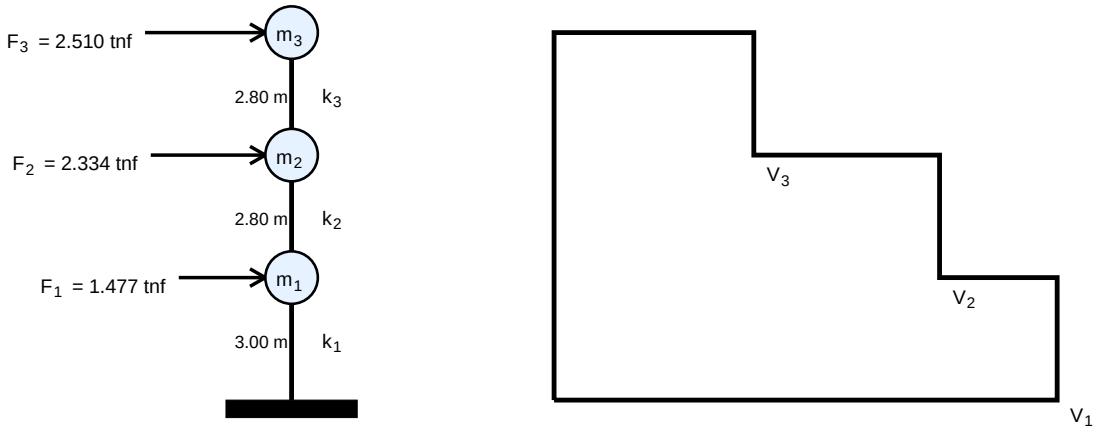


Figura 24: Fuerzas entrepiso y fuerzas cortantes – Análisis dinámico Y-Y

PASO 10: Matriz de desplazamientos absolutos [Δ]

Se determinan los vectores columna de desplazamientos absolutos con cada modo de vibración, para ello se emplea la siguiente expresión:

$$[\Delta_i] = (FP_i \cdot Sa_i / \omega_{ni}^2) \cdot [\Phi_i]$$

$$[\Delta_1] = \frac{FP_1 \cdot Sa_1 \text{ m/s}^2 \begin{vmatrix} 0.2628 \\ 0.4252 \\ 0.5046 \end{vmatrix}}{(16.9588 \text{ rad/s})^2}$$

$$[\Delta_1] = \begin{vmatrix} 0.002359 \\ 0.003816 \\ 0.004529 \end{vmatrix} \text{ m.}$$

$$[\Delta_2] = \frac{FP_2 \cdot Sa_2 \text{ m/s}^2 \begin{vmatrix} -0.5163 \\ -0.1237 \\ 0.4631 \end{vmatrix}}{(48.1191 \text{ rad/s})^2}$$

$$[\Delta_2] = \begin{vmatrix} 0.000140 \\ 0.000034 \\ -0.000126 \end{vmatrix} \text{ m.}$$

$$[\Delta_3] = \frac{FP_3 \cdot Sa_3 \text{ m/s}^2 \begin{vmatrix} -0.3448 \\ 0.5093 \\ -0.3087 \end{vmatrix}}{(69.5838 \text{ rad/s})^2}$$

$$[\Delta_3] = \begin{vmatrix} 0.000014 \\ -0.000021 \\ 0.000013 \end{vmatrix} \text{ m.}$$

Calculado los vectores columna de desplazamientos absolutos por cada modo de vibración, se agrupan en la siguiente matriz [Δ]:

$$[\Delta] = \begin{vmatrix} 0.002359 & 0.000140 & 0.000014 \\ 0.003816 & 0.000034 & -0.000021 \\ 0.004529 & -0.000126 & 0.000013 \end{vmatrix} \text{ m.}$$

PASO 11: Desplazamientos absolutos máximos esperados

Se determinan los valores máximos esperados de los desplazamientos absolutos de cada entrepiso, aplicando el mismo criterio de combinación modal del paso 8°:

$$r = 0.25\cdot\sum_{i=1..m}|r_i| \quad + \quad 0.75\cdot\sqrt{(\sum_{i=1..m} r_i^2)}$$

Para desplazamientos absolutos por nivel j:

$$\Delta_j = 0.25\cdot\sum_{i=1..m}|\Delta_{j,i}| + 0.75\cdot\sqrt{(\sum_{i=1..m} \Delta_{j,i}^2)}$$

$$\Delta_1 = 0.25\cdot(|\Delta_{1,1}| + |\Delta_{1,2}| + |\Delta_{1,3}|) + 0.75\cdot\sqrt{(\Delta_{1,1}^2 + \Delta_{1,2}^2 + \Delta_{1,3}^2)}$$

$$\Delta_1 = 0.25\cdot(|0.002359| + |0.000140| + |0.000014|) + 0.75\cdot\sqrt{((0.002359)^2 + (0.000140)^2 + (0.000014)^2)}$$

$$\Delta_1 = 0.0024 \text{ m}$$

$$\Delta_2 = 0.25\cdot(|\Delta_{2,1}| + |\Delta_{2,2}| + |\Delta_{2,3}|) + 0.75\cdot\sqrt{(\Delta_{2,1}^2 + \Delta_{2,2}^2 + \Delta_{2,3}^2)}$$

$$\Delta_2 = 0.25\cdot(|0.003816| + |0.000034| + |-0.000021|) + 0.75\cdot\sqrt{((0.003816)^2 + (0.000034)^2 + (-0.000021)^2)}$$

$$\Delta_2 = 0.0038 \text{ m}$$

$$\Delta_3 = 0.25\cdot(|\Delta_{3,1}| + |\Delta_{3,2}| + |\Delta_{3,3}|) + 0.75\cdot\sqrt{(\Delta_{3,1}^2 + \Delta_{3,2}^2 + \Delta_{3,3}^2)}$$

$$\Delta_3 = 0.25\cdot(|0.004529| + |-0.000126| + |0.000013|) + 0.75\cdot\sqrt{((0.004529)^2 + (-0.000126)^2 + (0.000013)^2)}$$

$$\Delta_3 = 0.0046 \text{ m}$$

Los desplazamientos absolutos máximos esperados de cada nivel son:

$$[\Delta] = \begin{vmatrix} 0.0024 \\ 0.0038 \\ 0.0046 \end{vmatrix} \text{ m}$$

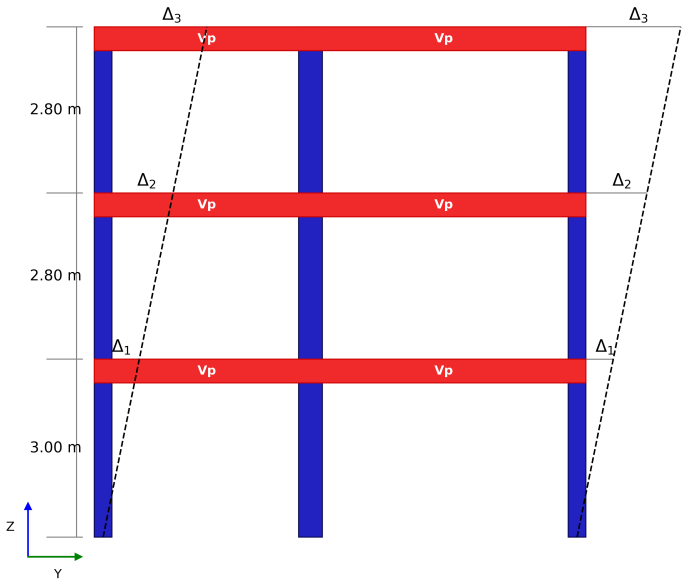


Figura 25: Vista de perfil Y–Z (desplazamientos máximos) – Análisis dinámico Y-Y

PASO 12: Desplazamientos relativos, derivas (distorsiones) y control de derivas

Una vez determinados los desplazamientos absolutos máximos esperados Δ_i, se obtienen los desplazamientos relativos laterales δ_i y las derivas β_i:

$$\delta_i = \Delta_i - \Delta_{i-1}, \quad \beta_i = \delta_i / h_i$$

$$\delta_1 = \Delta_1 - 0 = 0.0024 \text{ m}$$

$$\delta_2 = \Delta_2 - \Delta_1 = 0.0038 - 0.0024 = 0.0014 \text{ m}$$

$$\delta_3 = \Delta_3 - \Delta_2 = 0.0046 - 0.0038 = 0.0007 \text{ m}$$

$$\beta_1 = 0.0024 / 3.00 = 0.0008$$

$$\beta_2 = 0.0014 / 2.80 = 0.0005$$

$$\beta_3 = 0.0007 / 2.80 = 0.0003$$

Tabla 39: Control de derivas – Análisis plano dinámico Y-Y (NTE E.030)

Nivel	Δ_i (m)	δ_i (m)	Altura h_i (m)	β_i	$\beta \times 0.75$ R (R=8)	Límite	Observación
1	0.0024	0.0024	3.00	0.0008	0.0048	0.007	**OK**
2	0.0038	0.0014	2.80	0.0005	0.0031	0.007	**OK**
3	0.0046	0.0007	2.80	0.0003	0.0016	0.007	**OK**

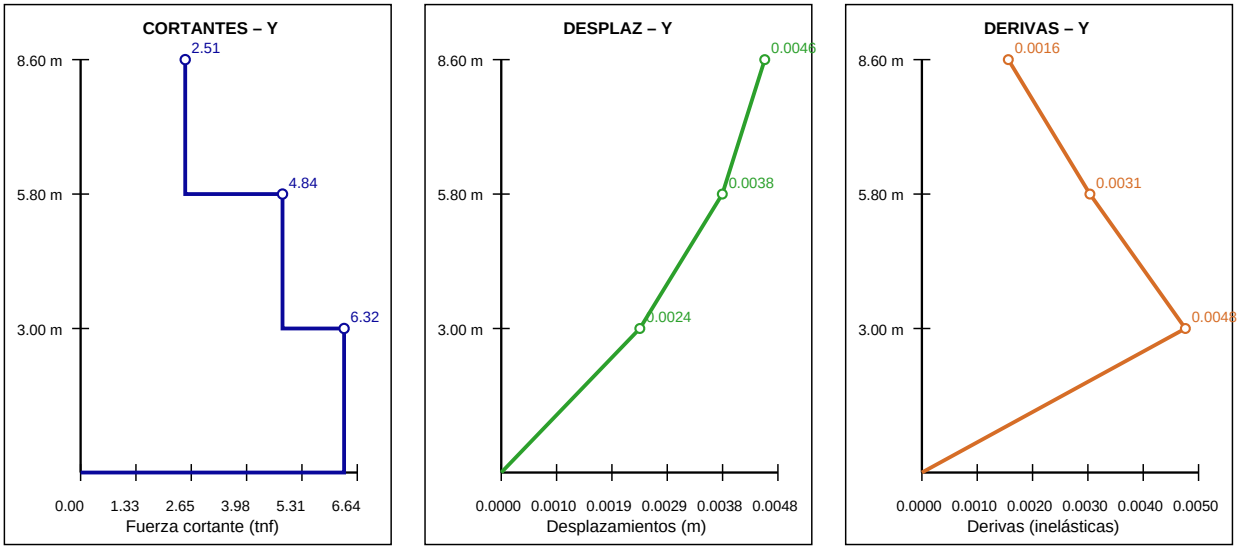


Figura 26: Respuestas frente al sismo DBE, sentido Y-Y

4. ANÁLISIS SÍSMICO EN 3D

4.1. Análisis dinámico modal 3D por coordenadas de piso

Se desarrolla a continuación el análisis dinámico modal 3D en coordenadas de piso, considerando tres grados de libertad por nivel: traslación en sentido X, traslación en sentido Y y rotación torsional en planta. La rigidez global se obtiene a partir de las rigideces planas de los pórticos y de las matrices de compatibilidad, mientras que la matriz de masa incorpora las masas traslacionales por piso y la inercia rotacional respecto del centro de masa. La combinación modal se efectúa con el criterio 0.25ABS + 0.75SRSS, y posteriormente se aplica la corrección por excentricidad accidental e = $\pm 0.05 \cdot B_t$.

4.1.1. Sistema global en coordenadas de piso

PASO 1°: Definición de grados de libertad por piso

El modelo dinámico se formula con tres grados de libertad por piso: traslación en X, traslación en Y y rotación torsional en planta. El orden adoptado para las matrices globales [K_E], [M_E], la matriz modal [Φ] y los vectores de respuesta es el siguiente:

Ux_piso_1.00	Ux_piso_2.00	Ux_piso_3.00
Uy_piso_1.00	Uy_piso_2.00	Uy_piso_3.00
Rz_piso_1.00	Rz_piso_2.00	Rz_piso_3.00

PASO 2°: Distancias al centro de masa y matrices [r]

Conocidas las coordenadas del centro de masa de cada nivel, se determinan las distancias algebraicas de cada pórtico respecto del centro de masa. Estas distancias se organizan en matrices diagonales [r_i] por eje.

$$[r_i] = \text{diag}(r_1, r_2, ..., r_n)$$

Tabla 40: Matriz [r] para pórticos en dirección X-X

Pórtico	Primer nivel	Segundo nivel	Tercer nivel
1	5.000	5.000	5.000
2	1.500	1.500	1.500
3	-3.000	-3.000	-3.000

Tabla 41: Matriz [r] para pórticos en dirección Y-Y

Pórtico	Primer nivel	Segundo nivel	Tercer nivel
A	-4.000	-4.000	-4.000
B	-1.000	-1.000	-1.000
C	3.000	3.000	3.000
D	6.000	6.000	6.000

PASO 3°: Matrices de compatibilidad [A_i]

La compatibilidad entre los desplazamientos generalizados del diafragma rígido y los desplazamientos de cada pórtico se establece mediante matrices [A_i] que dependen de la orientación del eje y de la distancia al centro de masa.

$$[A_i] = [\ \cos\alpha\ [I] \quad \text{sen}\alpha\ [I] \quad [r_i]\ ]$$

Matrices de compatibilidad de los pórticos en dirección X-X

Tabla 42: Matriz de compatibilidad [A_1] representativa en dirección X-X

1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Matrices de compatibilidad de los pórticos en dirección Y-Y

Tabla 43: Matriz de compatibilidad [A_A] representativa en dirección Y-Y

0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-4.00	0.00	0.00
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-4.00	0.00
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-4.00
0	0	0	0	0	0	0	0	0

PASO 4°: Ensamblaje de la matriz de rigidez global [K_E]

La matriz de rigidez global en coordenadas de piso se obtiene a partir de las rigideces laterales de cada pórtico y de sus matrices de compatibilidad con el sistema generalizado del diafragma rígido.

$$[K_E] = \Sigma\ [A_i]^T\ [K_i]\ [A_i]$$

Tabla 44: Matriz global de rigidez [K_E] del análisis dinámico modal 3D

1.67E+4	-9201.516	0.000	0.000	0.000	0.000	1.95E+4	-1.07E+4	0.000
-9201.516	1.84E+4	-9201.516	0.000	0.000	0.000	-1.07E+4	2.15E+4	-1.07E+4
0.000	-9201.516	9201.516	0.000	0.000	0.000	0.000	-1.07E+4	1.07E+4
0.000	0.000	0.000	2.35E+4	-1.30E+4	0.000	2.35E+4	-1.30E+4	0.000
0.000	0.000	0.000	-1.30E+4	2.59E+4	-1.30E+4	-1.30E+4	2.59E+4	-1.30E+4

0.000	0.000	0.000	0.000	-1.30E+4	1.30E+4	0.000	-1.30E+4	1.30E+4
1.95E+4	-1.07E+4	0.000	2.35E+4	-1.30E+4	0.000	5.66E+5	-3.12E+5	0.000
-1.07E+4	2.15E+4	-1.07E+4	-1.30E+4	2.59E+4	-1.30E+4	-3.12E+5	6.24E+5	-3.12E+5
0.000	-1.07E+4	1.07E+4	0.000	-1.30E+4	1.30E+4	0.000	-3.12E+5	3.12E+5

PASO 5°: Ensamblaje de la matriz de masa global [M_E]

La matriz de masa global se construye con las masas traslacionales por piso y con la inercia rotacional de la planta respecto del centro de masa, manteniendo la formulación en coordenadas de piso.

$$[M_E] = \begin{vmatrix} [m] & [0] & [0] \\ [0] & [m] & [0] \\ [0] & [0] & [j] \end{vmatrix}$$

Tabla 45: Matriz global de masa [M_E] del análisis dinámico modal 3D

6.762	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	6.737	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	5.379	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	6.762	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	6.737	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.379	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	92.409	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	92.078	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	73.512

4.1.2. Valores propios y matriz modal

PASO 6°: Valores propios, vectores propios y periodos de vibración

Con las matrices [K_E] y [M_E] se resuelve el problema generalizado de autovalores para obtener los valores propios, las formas modales y los periodos naturales de la edificación. La matriz diagonal [Λ] contiene los valores propios $\lambda_i = \omega_i^2$, mientras que [Φ] reúne las formas modales normalizadas del sistema.

$$[K_E]\,[\Phi] = [M_E]\,[\Phi]\,[\Lambda]$$

$$|\,[K_E] - \lambda\,[M_E]\,| = 0$$

$$\omega_i = \sqrt{\lambda_i} \qquad T_i = 2\pi/\omega_i$$

Tabla 46: Matriz diagonal de valores propios [Λ]

246.454	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	350.624	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	710.883	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	1981.459	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	2818.974	0.000	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4135.999	0.000	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5715.411	0.000	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5884.186	0.000
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.19E+4

Tabla 47: Matriz modal [Φ] del análisis dinámico modal 3D por coordenadas de piso

GDL	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5	Φ_6
Ux_piso_1	-0.5219	0.1355	0.3261	-1.0000	0.2597	-0.6726
Ux_piso_2	-0.8436	0.2190	0.5272	-0.2322	0.0603	1.0000
Ux_piso_3	-1.0000	0.2597	0.6249	0.9014	-0.2340	-0.6154
Uy_piso_1	-0.1022	-0.5219	0.5219	-0.1958	-1.0000	-0.1317
Uy_piso_2	-0.1651	-0.8436	0.8436	-0.0455	-0.2322	0.1958
Uy_piso_3	-0.1958	-1.0000	1.0000	0.1765	0.9014	-0.1205
Rz_piso_1	0.0353	0.0360	0.4631	0.0677	0.0691	0.0455
Rz_piso_2	0.0571	0.0583	0.7486	0.0157	0.0160	-0.0677
Rz_piso_3	0.0677	0.0691	0.8874	-0.0610	-0.0623	0.0416

Tabla 48: Propiedades modales del sistema 3D en coordenadas de piso

Modo	ω_n (rad/s)	T_n (s)	Predominio
1	15.6989	0.4002	X-X
2	18.7250	0.3356	Y-Y
3	26.6624	0.2357	Y-Y
4	44.5136	0.1412	X-X
5	53.0940	0.1183	Y-Y
6	64.3117	0.0977	X-X
7	75.6003	0.0831	Y-Y
8	76.7084	0.0819	Y-Y
9	109.2248	0.0575	Y-Y

Tabla 49: Espectro de sismo de diseño DBE Sa/g adoptado para el análisis modal 3D

Figura 27: Espectro de sismo de diseño DBE adoptado para el análisis modal 3D

Tabla 50: Factores de participación modal y aceleraciones espectrales

4.1.3. Factores de participación modal y aceleraciones espectrales

PASO 7°: Aceleración espectral y factores de participación modal

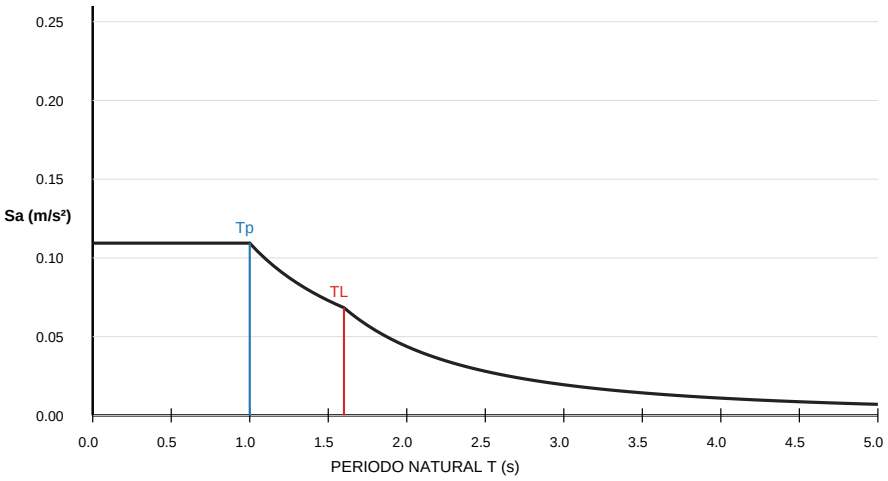
Con los periodos de vibración obtenidos se evalúa la aceleración espectral correspondiente a cada modo y, seguidamente, se determinan los factores de participación modal respecto de las direcciones X-X e Y-Y. En la siguiente tabla se resumen dichos parámetros.

$$FP_i = ([\Phi_i]^T [M_E] [J]) / ([\Phi_i]^T [M_E] [\Phi_i])$$

$$S_{a,i} = (Z \cdot U \cdot C(T_i) \cdot S / R) \cdot g$$

T (s)	C	Sa/g	T (s)	C	Sa/g
0.00	2.50	0.109	2.60	0.59	0.026
0.10	2.50	0.109	2.70	0.55	0.024
0.20	2.50	0.109	2.80	0.51	0.022
0.30	2.50	0.109	2.90	0.48	0.021
0.40	2.50	0.109	3.00	0.44	0.019

T (s)	C	Sa/g	T (s)	C	Sa/g
0.50	2.50	0.109	3.10	0.42	0.018
0.60	2.50	0.109	3.20	0.39	0.017
0.70	2.50	0.109	3.30	0.37	0.016
0.80	2.50	0.109	3.40	0.35	0.015
0.90	2.50	0.109	3.50	0.33	0.014
1.00	2.50	0.109	3.60	0.31	0.014
1.10	2.27	0.099	3.70	0.29	0.013
1.20	2.08	0.091	3.80	0.28	0.012
1.30	1.92	0.084	3.90	0.26	0.012
1.40	1.79	0.078	4.00	0.25	0.011
1.50	1.67	0.073	4.10	0.24	0.010
1.60	1.56	0.068	4.20	0.23	0.010
1.70	1.38	0.061	4.30	0.22	0.009
1.80	1.23	0.054	4.40	0.21	0.009
1.90	1.11	0.048	4.50	0.20	0.009
2.00	1.00	0.044	4.60	0.19	0.008
2.10	0.91	0.040	4.70	0.18	0.008
2.20	0.83	0.036	4.80	0.17	0.008
2.30	0.76	0.033	4.90	0.17	0.007
2.40	0.69	0.030	5.00	0.16	0.007
2.50	0.64	0.028			



Modo	Pred.	FP_x	Sa_x (m/s²)	FP_y	Sa_y (m/s²)
1	X-X	-1.5867	1.0730	-0.3106	1.0730
2	Y-Y	0.4060	1.0730	-1.5638	1.0730
3	Y-Y	0.1298	1.0730	0.2077	1.0730
4	X-X	-0.3834	1.0730	-0.0751	1.0730
5	Y-Y	0.0981	1.0730	-0.3778	1.0730
6	X-X	-0.1189	1.0730	-0.0233	1.0730
7	Y-Y	0.0314	1.0730	0.0502	1.0730
8	Y-Y	-0.0304	1.0730	0.1171	1.0730
9	Y-Y	0.0097	1.0730	0.0156	1.0730

4.1.4. Matrices de fuerzas modales

PASO 8°: Fuerzas modales por dirección principal

Las fuerzas modales se obtienen con la expresión $[F_i] = FP_i \cdot Sa_i \cdot [M_E] \cdot [\Phi_i]$. A continuación se presentan las matrices de fuerzas modales correspondientes a los primeros modos considerados en cada dirección principal.

$$[F_i] = FP_i \cdot S_{a,i} \cdot [M_E] \cdot [\Phi_i]$$

Tabla 51: Matriz de fuerzas modales [F] en dirección X-X

4.177	0.274	0.148	1.994	0.131	0.420
6.727	0.441	0.238	0.461	0.030	-0.622
6.366	0.417	0.225	-1.430	-0.094	0.305
0.818	-1.054	0.236	0.390	-0.503	0.082
1.317	-1.698	0.381	0.090	-0.116	-0.122
1.246	-1.607	0.360	-0.280	0.361	0.060
-3.863	0.995	2.868	-1.844	0.475	-0.388
-6.221	1.603	4.618	-0.427	0.110	0.575
-5.888	1.517	4.371	1.322	-0.341	-0.283

Tabla 52: Matriz de fuerzas modales [F] en dirección Y-Y

0.818	-1.054	0.236	0.390	-0.503	0.082
1.317	-1.698	0.381	0.090	-0.116	-0.122
1.246	-1.607	0.360	-0.280	0.361	0.060
0.160	4.060	0.378	0.076	1.938	0.016
0.258	6.539	0.609	0.018	0.448	-0.024
0.244	6.188	0.577	-0.055	-1.390	0.012
-0.756	-3.832	4.589	-0.361	-1.829	-0.076
-1.218	-6.172	7.390	-0.084	-0.423	0.113
-1.153	-5.842	6.994	0.259	1.312	-0.055

4.1.5. Primeros modos de vibración

PASO 9°: Representación de los primeros modos de vibración

Se presentan a continuación los primeros modos de vibración del sistema. Cada columna corresponde a un modo, mientras que cada fila representa el grado de libertad de piso indicado en el orden adoptado.

Tabla 53: Matriz reducida de los primeros modos de vibración

GDL	Φ_1	Φ_2	Φ_3	Φ_4	Φ_5	Φ_6
Ux_piso_1	-0.5219	0.1355	0.3261	-1.0000	0.2597	-0.6726
Ux_piso_2	-0.8436	0.2190	0.5272	-0.2322	0.0603	1.0000
Ux_piso_3	-1.0000	0.2597	0.6249	0.9014	-0.2340	-0.6154
Uy_piso_1	-0.1022	-0.5219	0.5219	-0.1958	-1.0000	-0.1317
Uy_piso_2	-0.1651	-0.8436	0.8436	-0.0455	-0.2322	0.1958
Uy_piso_3	-0.1958	-1.0000	1.0000	0.1765	0.9014	-0.1205
Rz_piso_1	0.0353	0.0360	0.4631	0.0677	0.0691	0.0455
Rz_piso_2	0.0571	0.0583	0.7486	0.0157	0.0160	-0.0677

Rz_piso_3	0.0677	0.0691	0.8874	-0.0610	-0.0623	0.0416

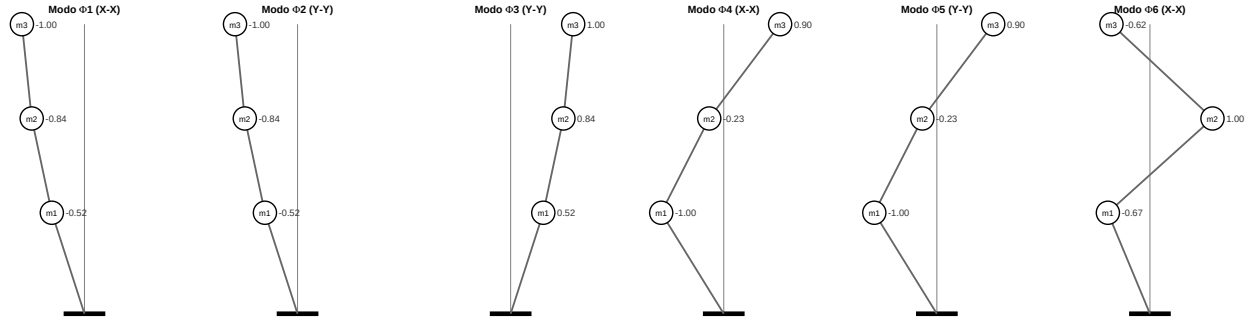


Figura 28: Modos de vibración del análisis dinámico modal 3D por coordenadas de piso

Tabla 54: Respuesta combinada del análisis dinámico modal 3D

4.1.6. Respuesta combinada del análisis modal 3D

PASO 10°: Respuesta combinada del análisis modal 3D

Las respuestas modales se combinan con el criterio 0.25ABS + 0.75SRSS, obteniéndose las fuerzas de entrepiso, cortantes acumuladas, desplazamientos absolutos y derivas elásticas combinadas en cada dirección principal.

$$r = 0.25 \cdot \Sigma |r_i| + 0.75 \cdot \sqrt{(\Sigma r_i^2)}$$

Dir.	Nivel	F_i comb. (tnf)	V_i comb. (tnf)	Δ_i comb. (m)	β comb.
X-X	1	5.3087	19.6933	0.002592	0.0009
X-X	2	7.2422	14.3846	0.004129	0.0005
X-X	3	7.1424	7.1424	0.004917	0.0003
Y-Y	1	5.2188	19.3459	0.001793	0.0006
Y-Y	2	7.1111	14.1271	0.002855	0.0004
Y-Y	3	7.0160	7.0160	0.003400	0.0002

Tabla 55: Control de derivas del análisis dinámico modal 3D – Dirección X-X

Tabla 56: Control de derivas del análisis dinámico modal 3D – Dirección Y-Y

Tabla 57: Resumen global del análisis dinámico modal 3D

4.1.7. Resumen modal 3D en dirección X-X

Para la dirección X-X, la torsión accidental gobernante resulta -0.05Bt y el pórtico crítico corresponde al eje 3. El desplazamiento modal combinado en techo, antes de incorporar la corrección torsional accidental, es 0.004917 m.

$$M_{t,i} = \pm F_i \cdot e$$

$$e = 0.05 \cdot B_t$$

Nivel	U crit (m)	δ crit (m)	β	β·0.75R	Eje crítico	Exc. gob.	Control
1	0.002733	0.002733	0.0009	0.0055	3	-0.05Bt	OK
2	0.004354	0.001621	0.0006	0.0035	3	-0.05Bt	OK

3	0.005183	0.000830	0.0003	0.0018	3	-0.05Bt	OK

4.1.8. Resumen modal 3D en dirección Y-Y

Para la dirección Y-Y, la torsión accidental gobernante resulta +0.05Bt y el pórtico crítico corresponde al eje D. El desplazamiento modal combinado en techo, antes de incorporar la corrección torsional accidental, es 0.003400 m.

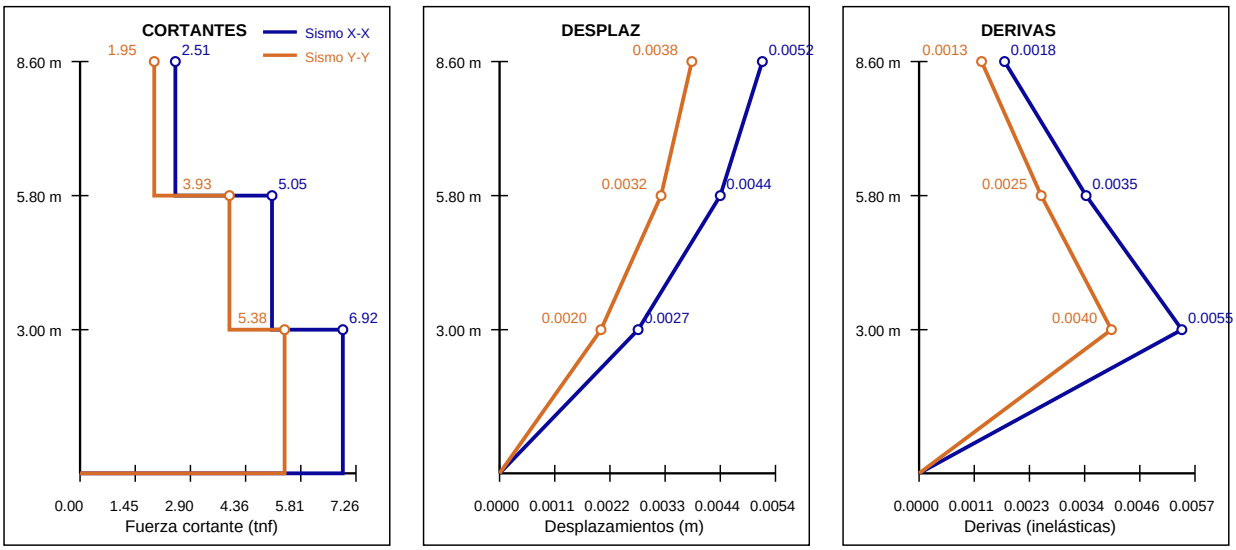
$$M_{t,i} = \pm F_i \cdot e$$

$$e = 0.05 \cdot B_t$$

Nivel	U crit (m)	δ crit (m)	β	β·0.75R	Eje crítico	Exc. gob.	Control
1	0.002000	0.002000	0.0007	0.0040	D	+0.05Bt	OK
2	0.003186	0.001186	0.0004	0.0025	D	+0.05Bt	OK
3	0.003792	0.000607	0.0002	0.0013	D	+0.05Bt	OK

Dirección	Eje crítico	Exc. gob.	β·0.75R máx	Límite	Control
X-X	3	-0.05Bt	0.0055	0.007	OK
Y-Y	D	+0.05Bt	0.0040	0.007	OK

Figura 29: Respuestas frente al sismo del análisis dinámico modal 3D



5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

5.1. Análisis estructural en el plano XZ

5.1.1 Metrado de cargas en el plano XZ

CARGA MUERTA

Descripción	Ancho trib (m)	P.U. Concreto (tnf/m³)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf/m)
Acabado	2.25	-	0.100	0.23
Tabiquería	2.25	-	0.100	0.23
Losa aligerada	2.25	-	0.423	0.95
Viga	0.07(sección)	2400.00	-	0.18
Muro	-	-	-	0.00

Tabla 58: Metrado de Carga Muerta — nivel 1, dirección X-X

Total Carga Muerta distribuida en nivel 1, dirección X-X	**1.58 tnf/m**

Tabla 59: Total de Carga Muerta distribuida — nivel 1, X-X

Descripción	Ancho trib (m)	P.U. Concreto (tnf/m³)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf/m)
Acabado	2.25	-	0.100	0.23
Tabiquería	2.25	-	0.100	0.23
Losa aligerada	2.25	-	0.423	0.95
Viga	0.07(sección)	2400.00	-	0.18
Muro	-	-	-	0.00

Tabla 60: Metrado de Carga Muerta — nivel 2, dirección X-X

Total Carga Muerta distribuida en nivel 2, dirección X-X	**1.58 tnf/m**

Tabla 61: Total de Carga Muerta distribuida — nivel 2, X-X

Descripción	Ancho trib (m)	P.U. Concreto (tnf/m³)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf/m)
Acabado	2.25	-	0.100	0.23
Losa aligerada	2.25	-	0.423	0.95
Viga	0.07(sección)	2400.00	-	0.18
Muro	-	-	-	0.00

Tabla 62: Metrado de Carga Muerta — nivel 3, dirección X-X

Total Carga Muerta distribuida en nivel 3, dirección X-X	**1.36 tnf/m**

Tabla 63: Total de Carga Muerta distribuida — nivel 3, X-X

CARGA VIVA

Descripción	Ancho trib (m)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Sobrecarga típica	2.25	-	0.200	0.45

Tabla 64: Sobrecarga de uso — piso típico, X-X

Total Carga Viva distribuida en piso típico, dirección X-X	0.45 tnf/m

Tabla 65: Total de Carga Viva distribuida — piso típico, X-X

Descripción	Ancho trib (m)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Sobrecarga último nivel	2.25	-	0.100	0.23

Tabla 66: Sobrecarga — último nivel, X-X

Total Carga Viva distribuida en el último nivel, dirección X-X	0.23 tnf/m

Tabla 67: Total de Carga Viva distribuida — último nivel, X-X

5.1.2 Idealización de la estructura en el plano XZ

Para el plano XZ, correspondiente a la dirección secundaria, se presenta el eje más cargado. En su idealización se considera el metrado de cargas con ancho tributario de 1.00 m a cada lado del eje, conforme al criterio adoptado para las vigas secundarias, así como la fuerza sísmica más desfavorable del plano, manteniendo las figuras de cargas, combinaciones y envolventes como base de verificación estructural del pórtico crítico.

Eje 2

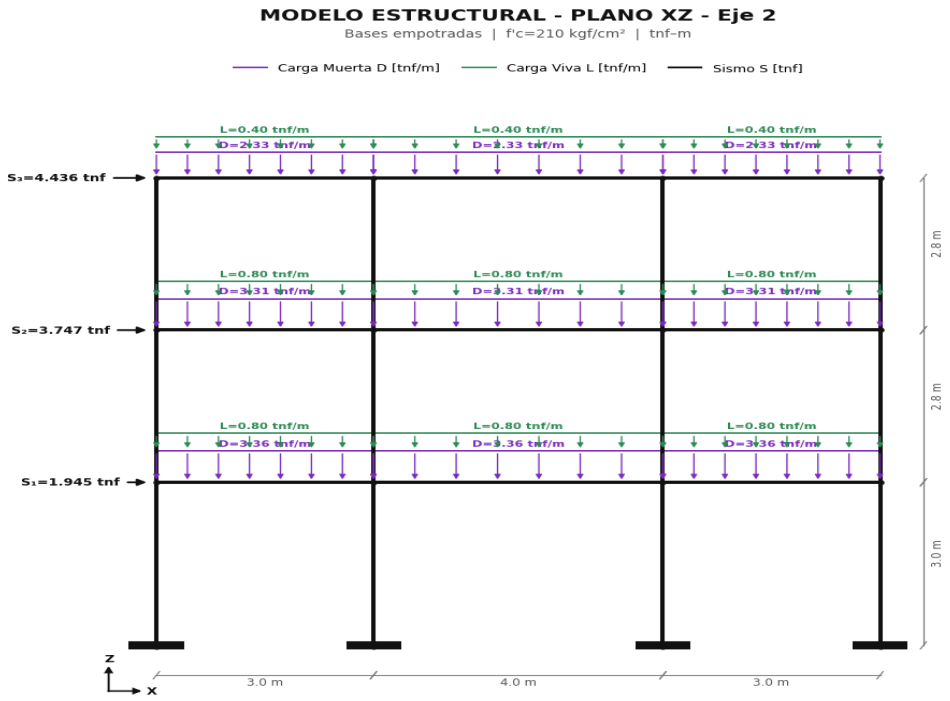


Figura 1: Modelo estructural — cargas distribuidas y fuerzas sísmicas (XZ), eje 2

5.1.3 Combinaciones de carga en el plano XZ

Eje 2

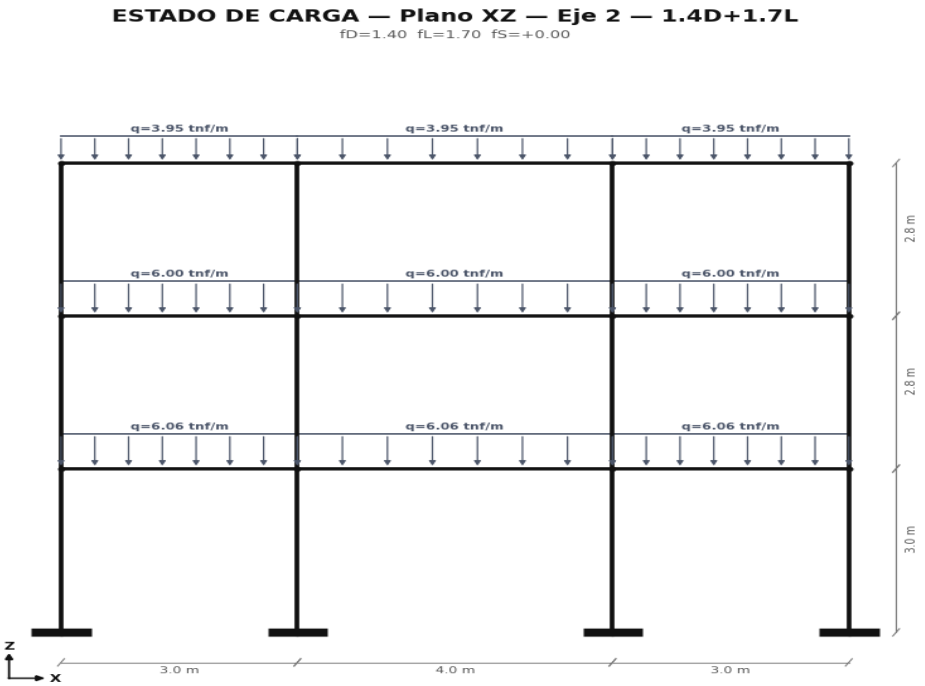


Figura 2: Combinación 1.4D+1.7L — estado de carga (XZ), eje 2

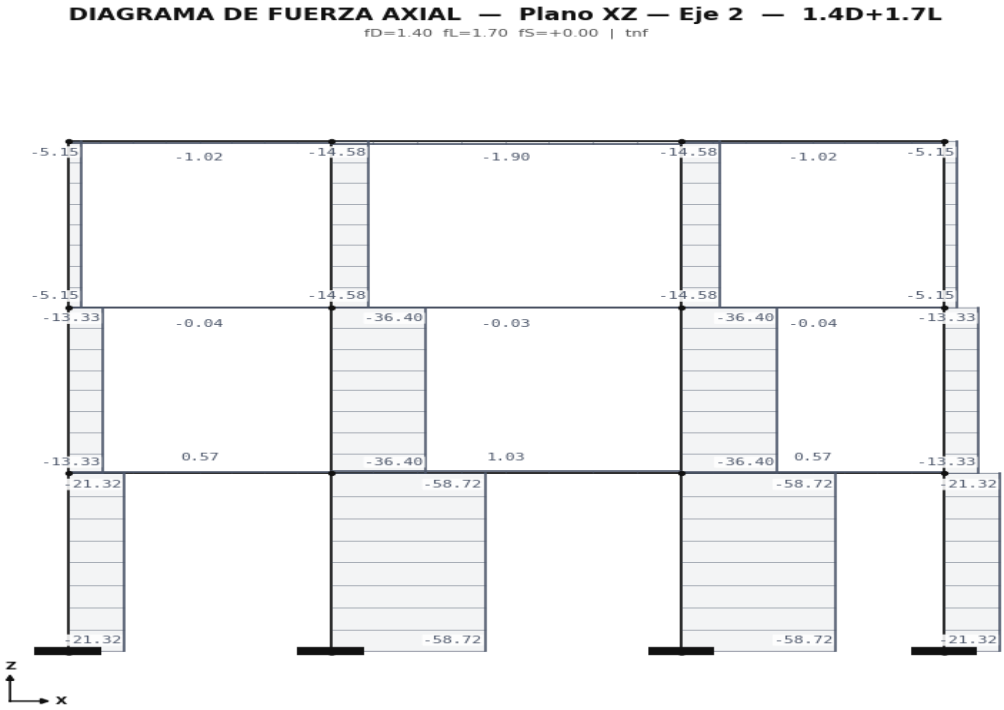


Figura 3: Combinación 1.4D+1.7L — axial (XZ), eje 2

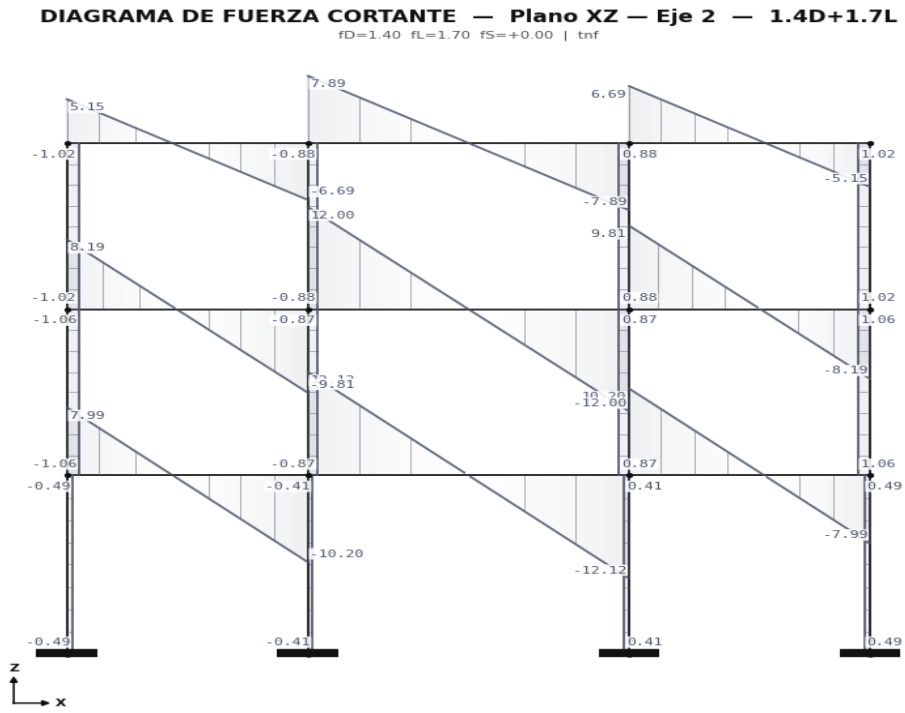


Figura 4: Combinación 1.4D+1.7L — cortante (XZ), eje 2

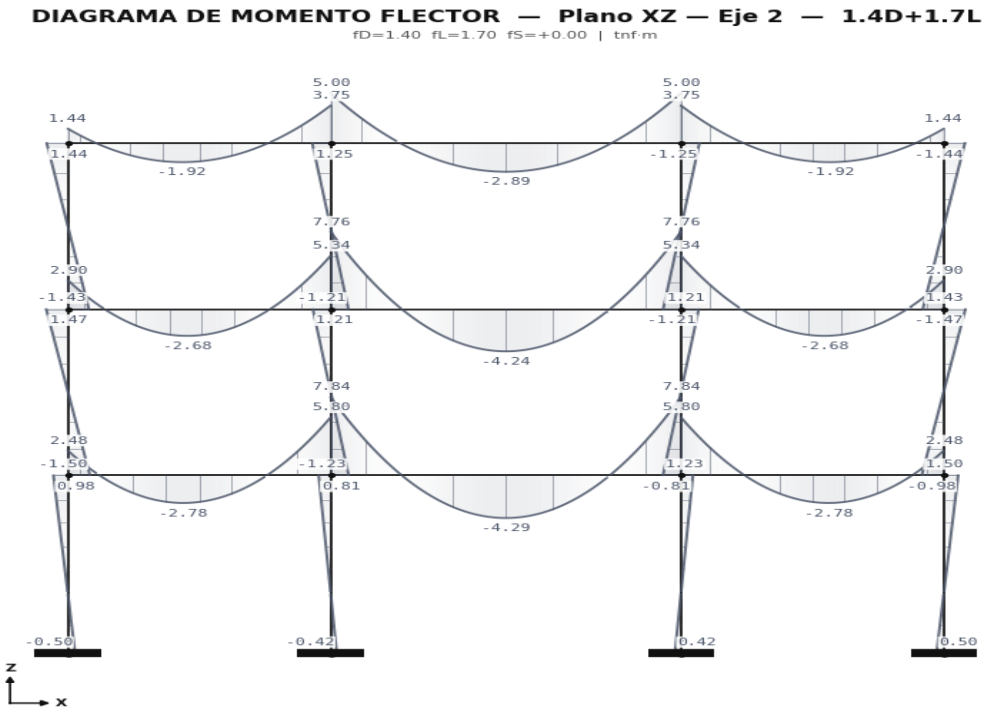


Figura 5: Combinación 1.4D+1.7L — momento (XZ), eje 2

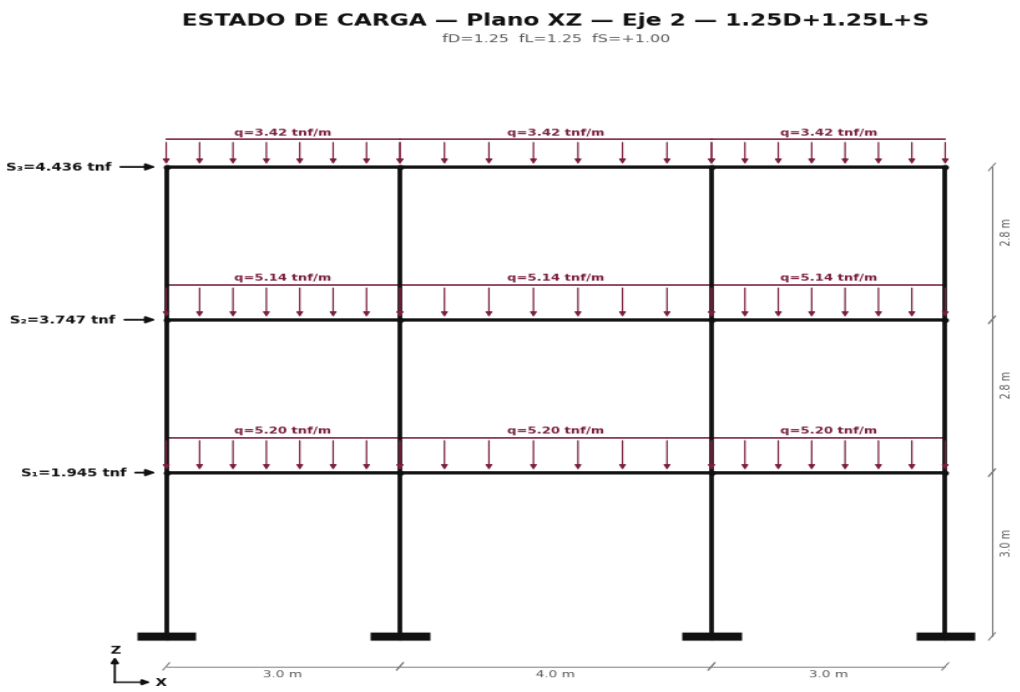


Figura 6: Combinación 1.25D+1.25L+S — estado de carga (XZ), eje 2

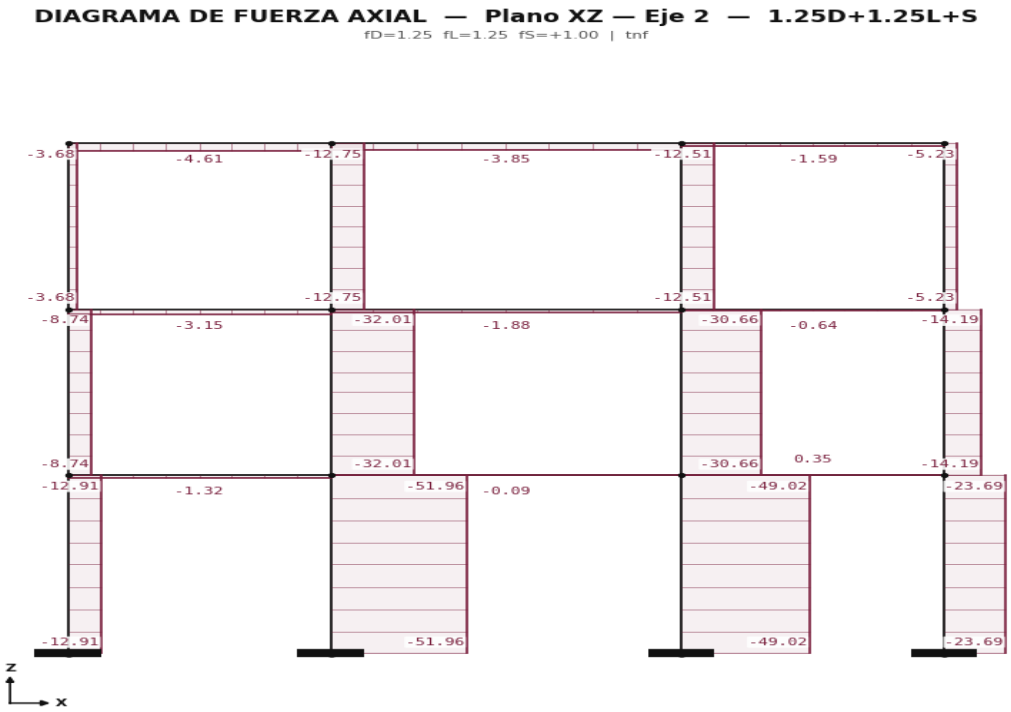


Figura 7: Combinación 1.25D+1.25L+S — axial (XZ), eje 2

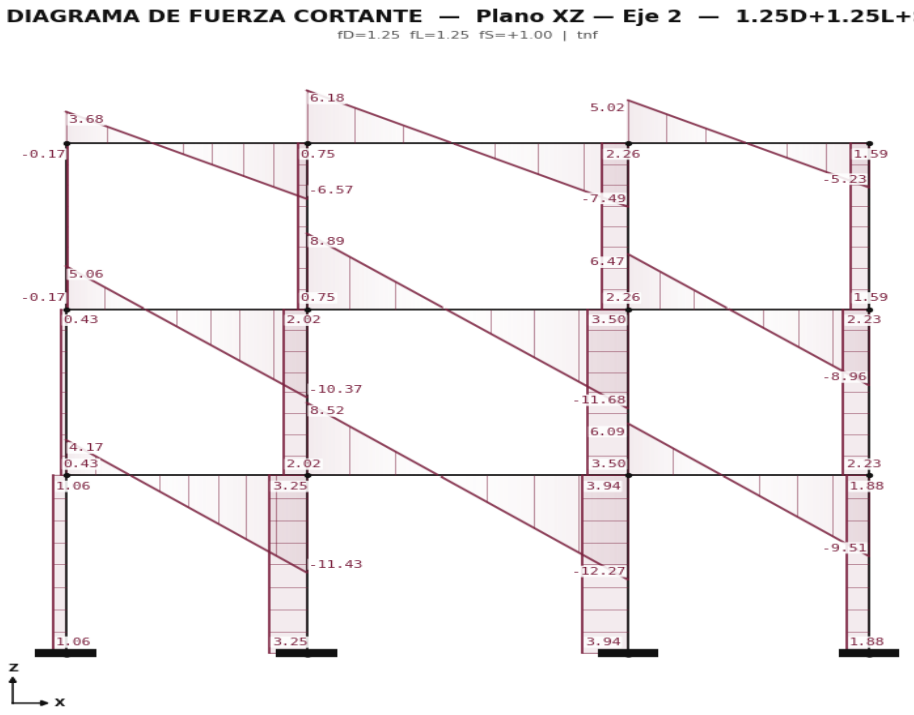


Figura 8: Combinación 1.25D+1.25L+S — cortante (XZ), eje 2

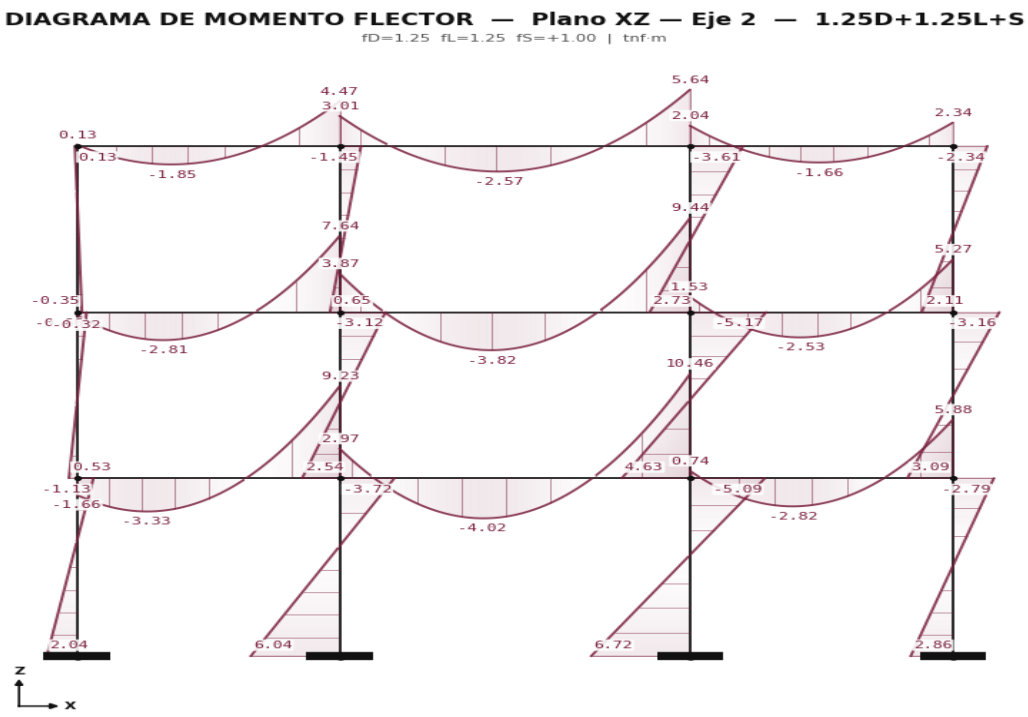


Figura 9: Combinación 1.25D+1.25L+S — momento (XZ), eje 2

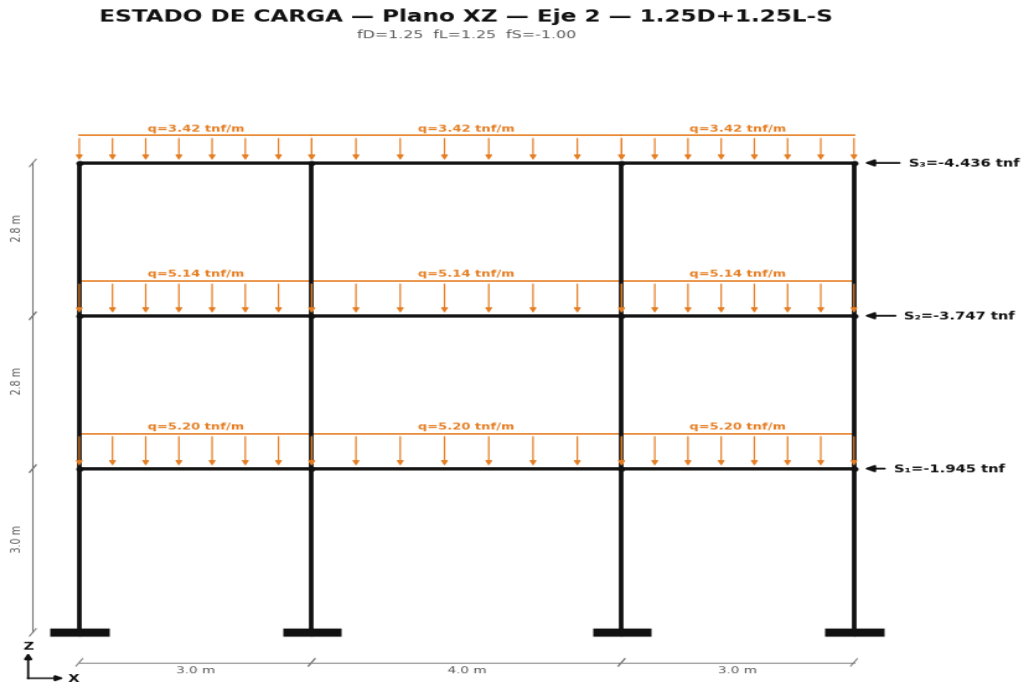


Figura 10: Combinación 1.25D+1.25L-S — estado de carga (XZ), eje 2

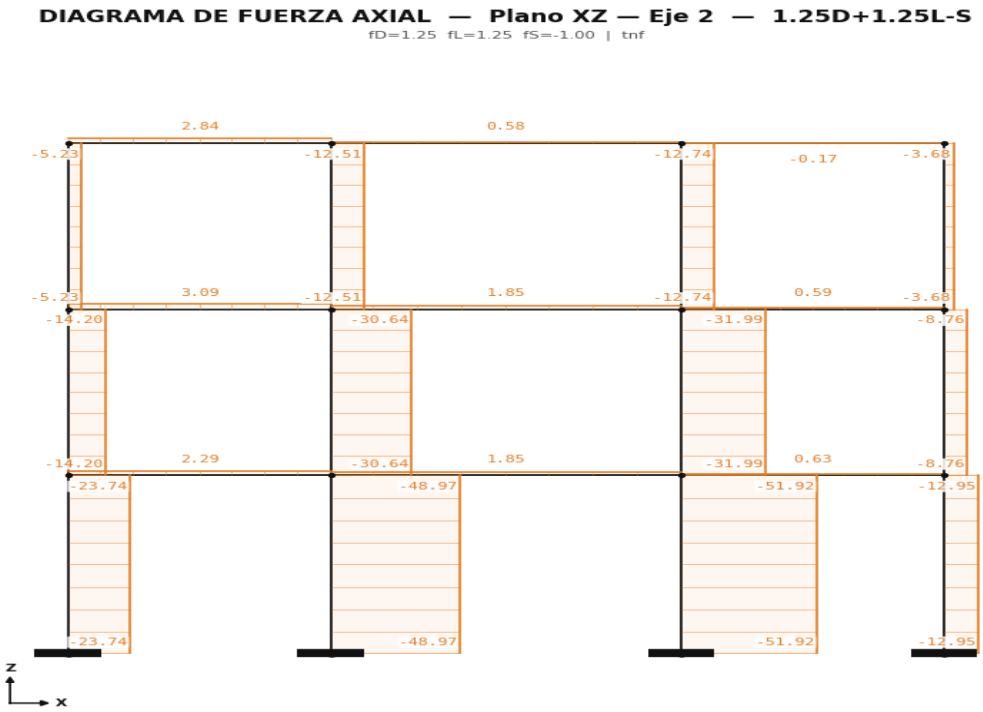


Figura 11: Combinación 1.25D+1.25L-S — axial (XZ), eje 2

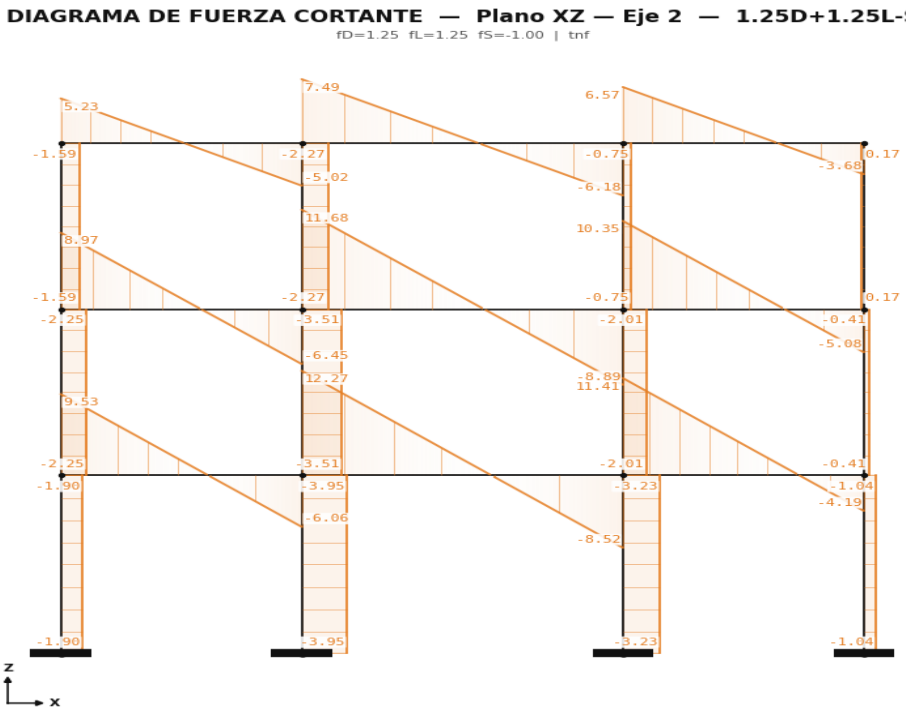


Figura 12: Combinación 1.25D+1.25L-S — cortante (XZ), eje 2

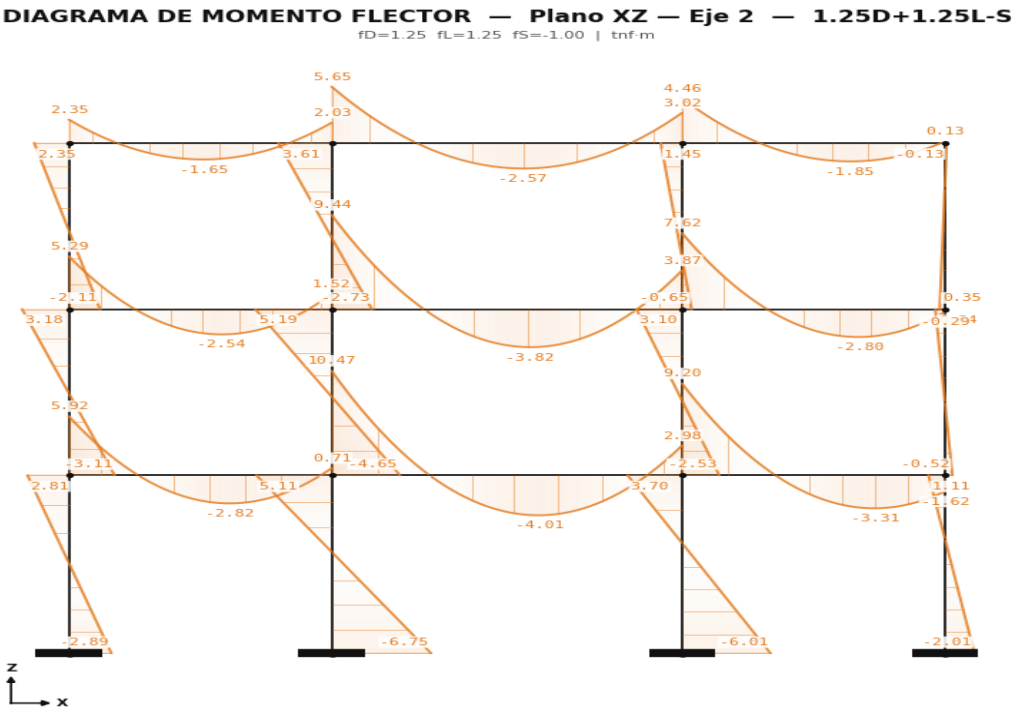


Figura 13: Combinación 1.25D+1.25L-S — momento (XZ), eje 2

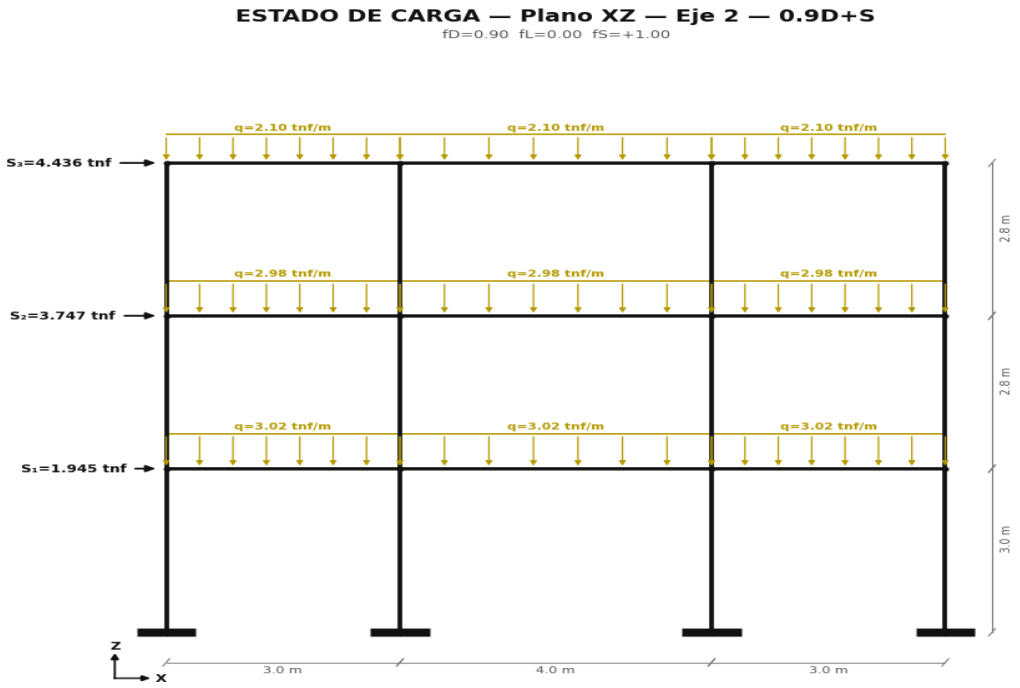


Figura 14: Combinación 0.9D+S — estado de carga (XZ), eje 2

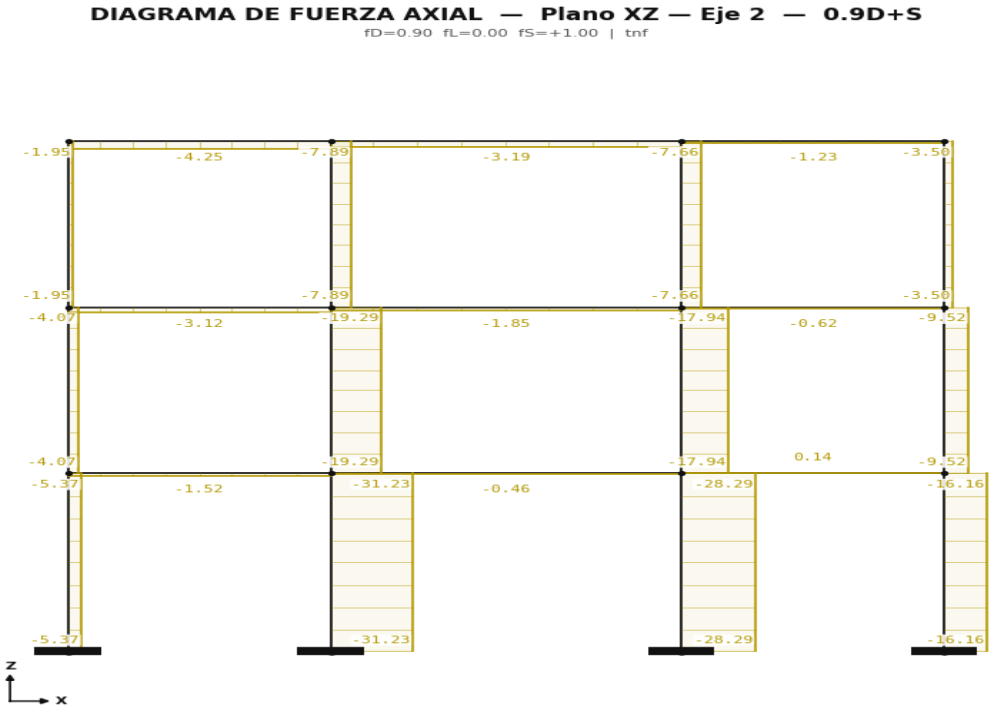


Figura 15: Combinación 0.9D+S — axial (XZ), eje 2

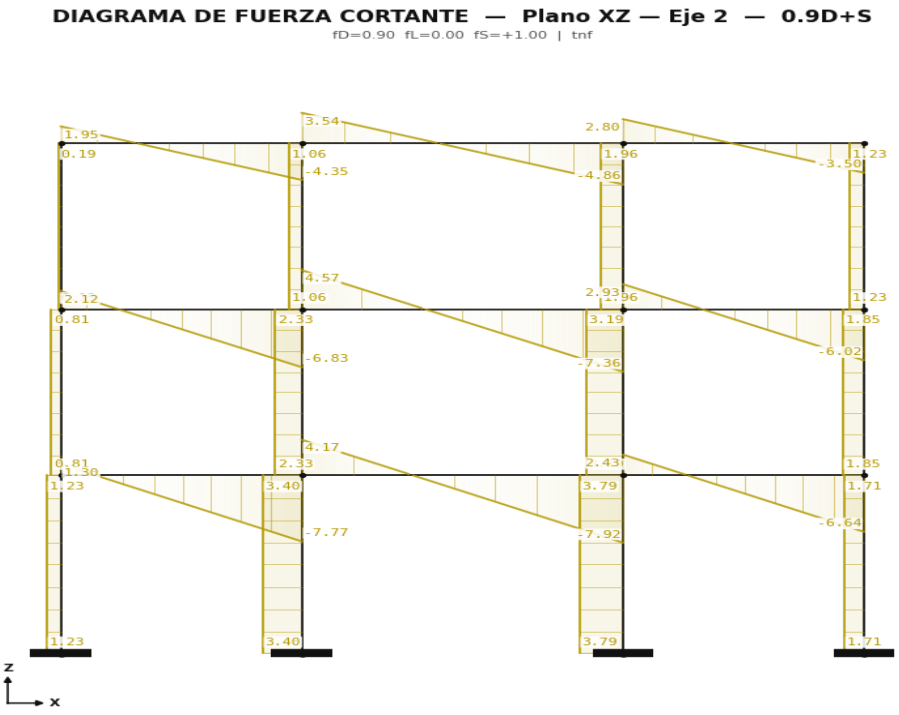


Figura 16: Combinación 0.9D+S — cortante (XZ), eje 2

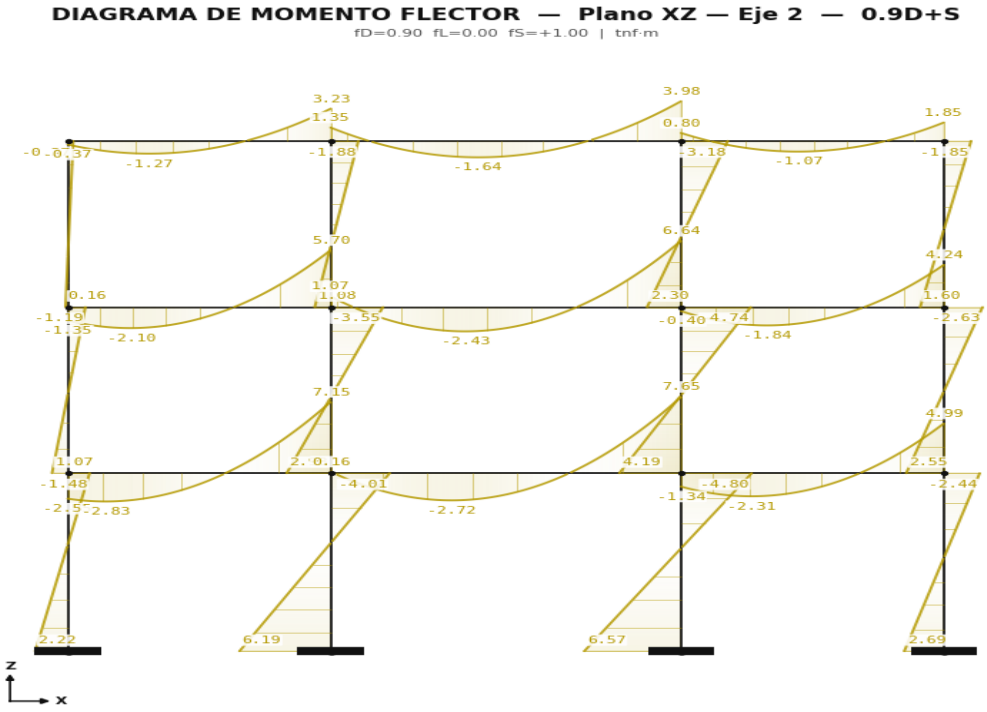


Figura 17: Combinación 0.9D+S — momento (XZ), eje 2

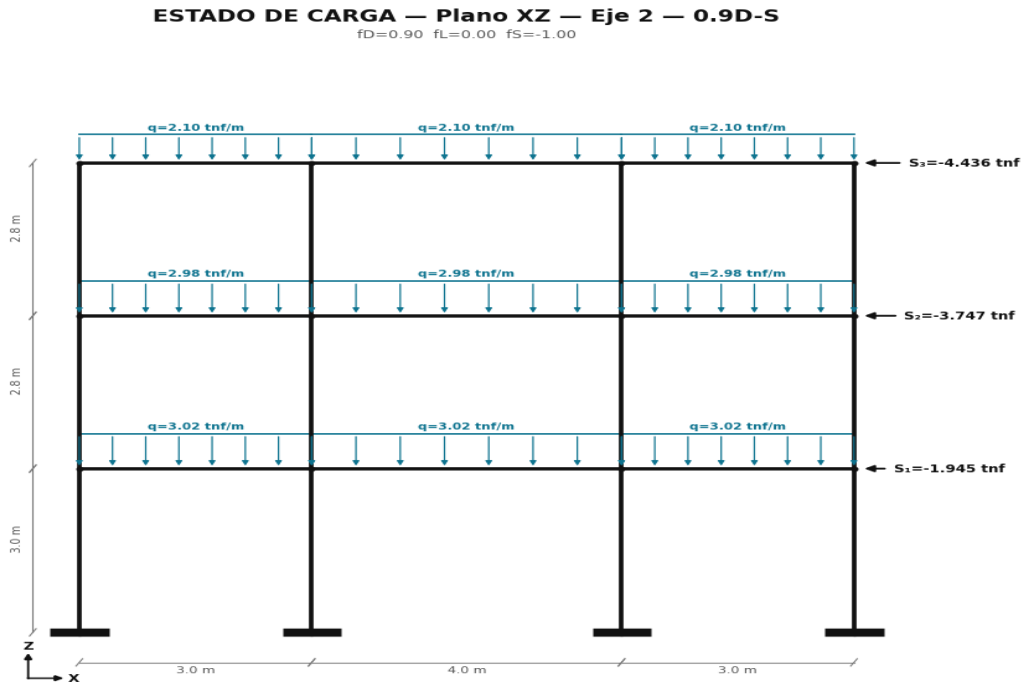


Figura 18: Combinación 0.9D-S — estado de carga (XZ), eje 2

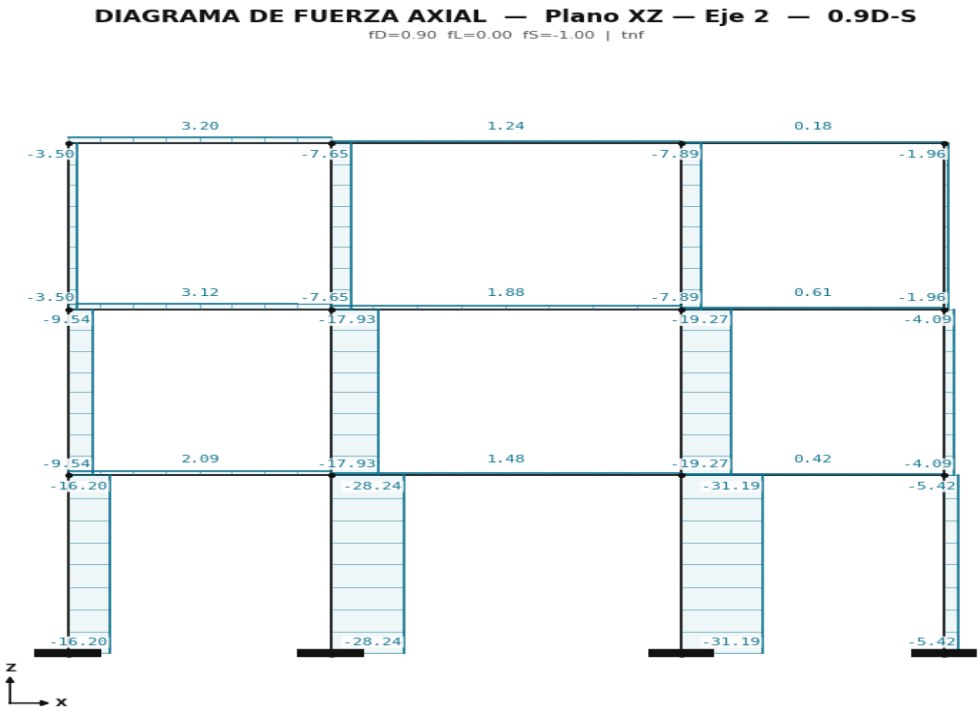


Figura 19: Combinación 0.9D-S — axial (XZ), eje 2

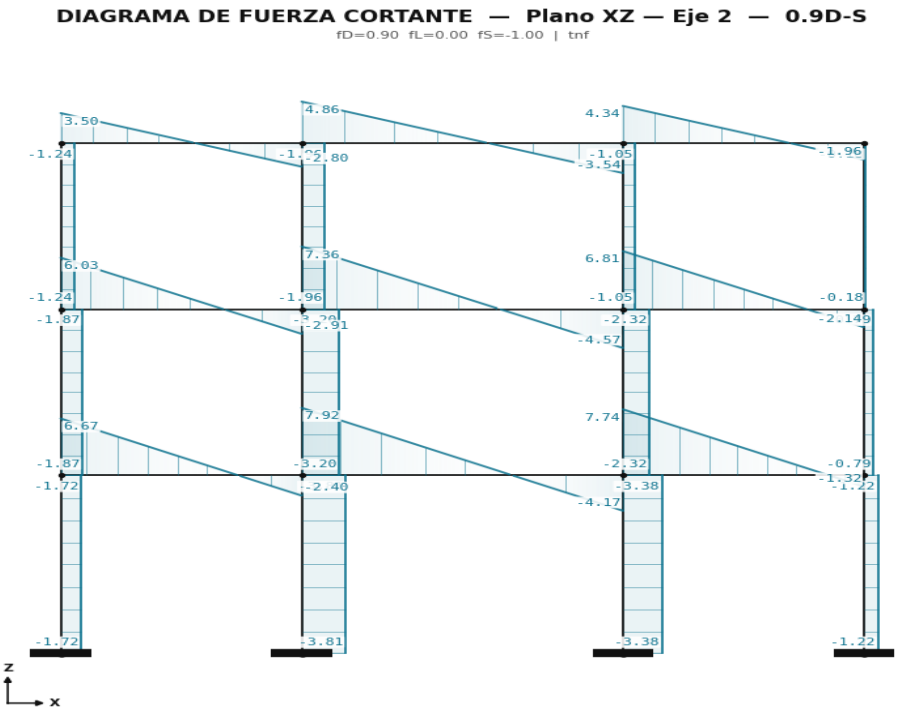


Figura 20: Combinación 0.9D-S — cortante (XZ), eje 2

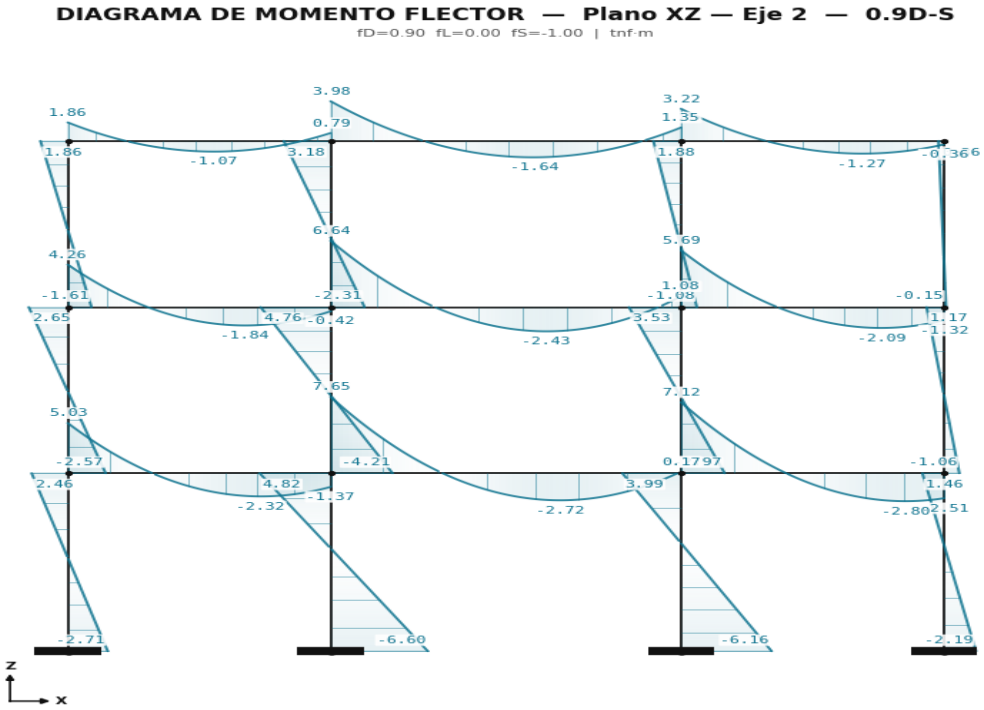


Figura 21: Combinación 0.9D-S — momento (XZ), eje 2

5.1.5 Envolvente de esfuerzos en el plano XZ

Eje 2

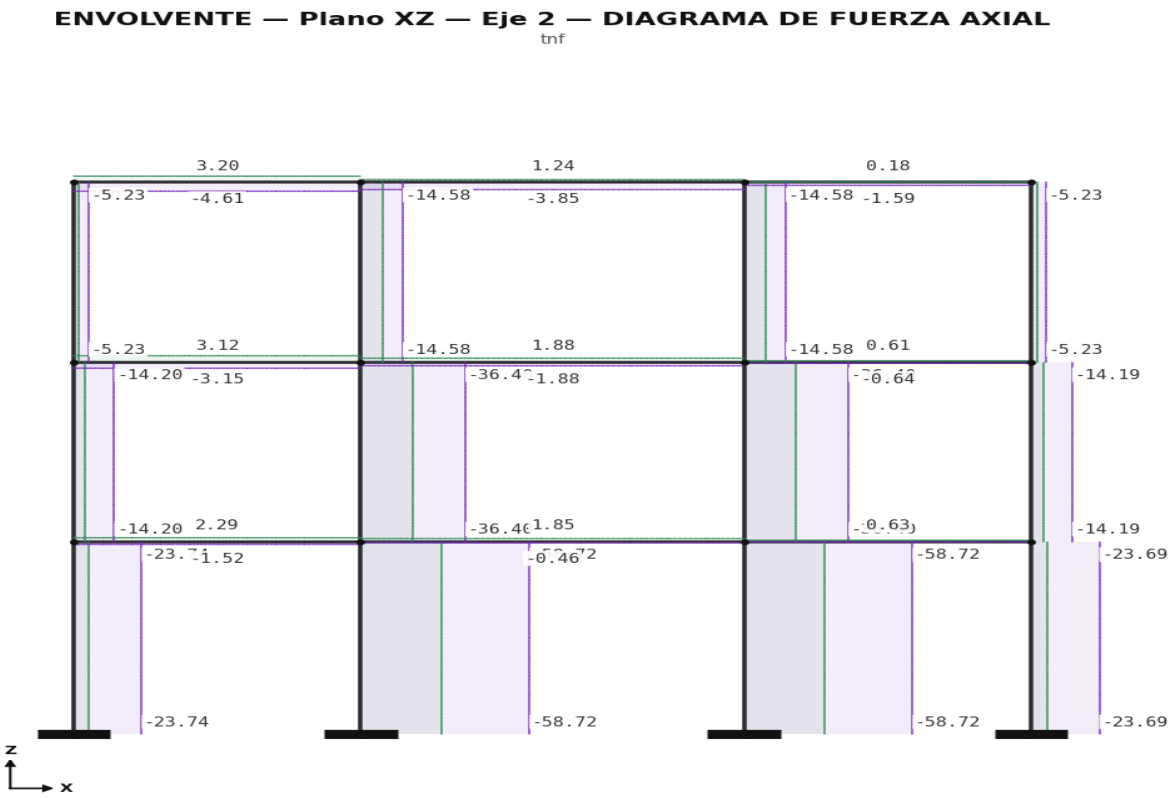


Figura 22: Envolvente de esfuerzos axiales — XZ, eje 2

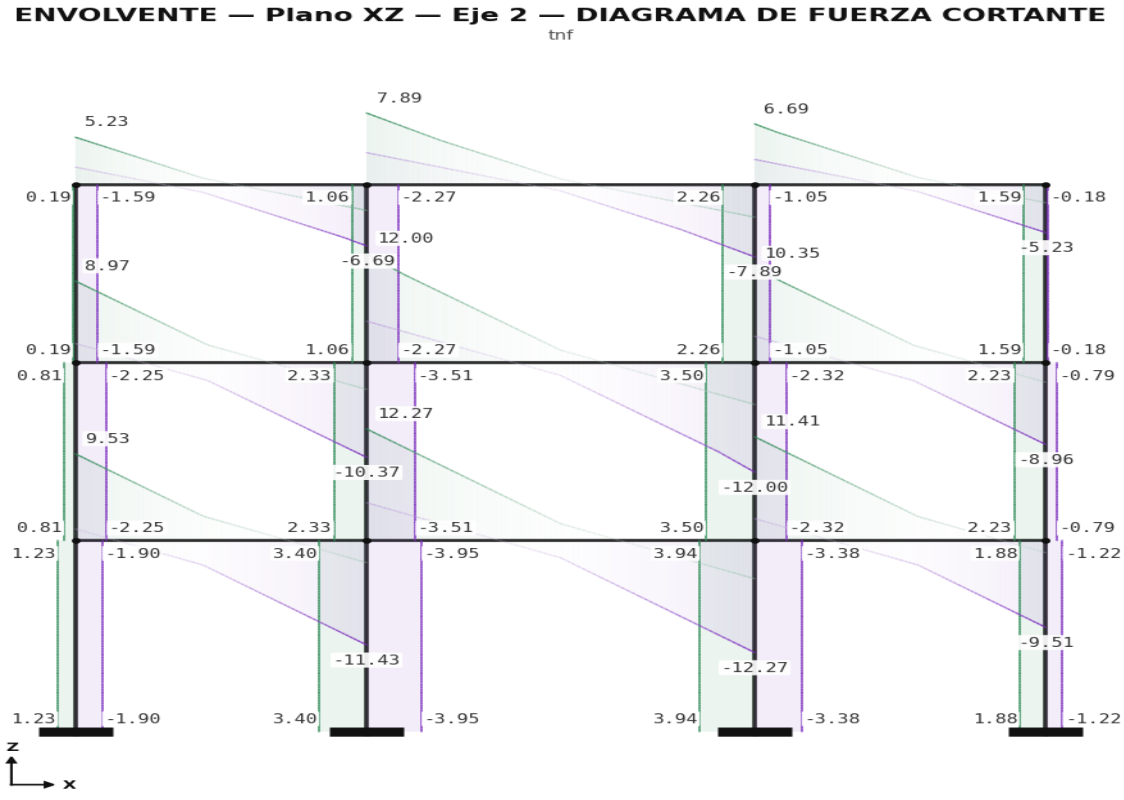


Figura 23: Envolvente de cortantes — XZ, eje 2

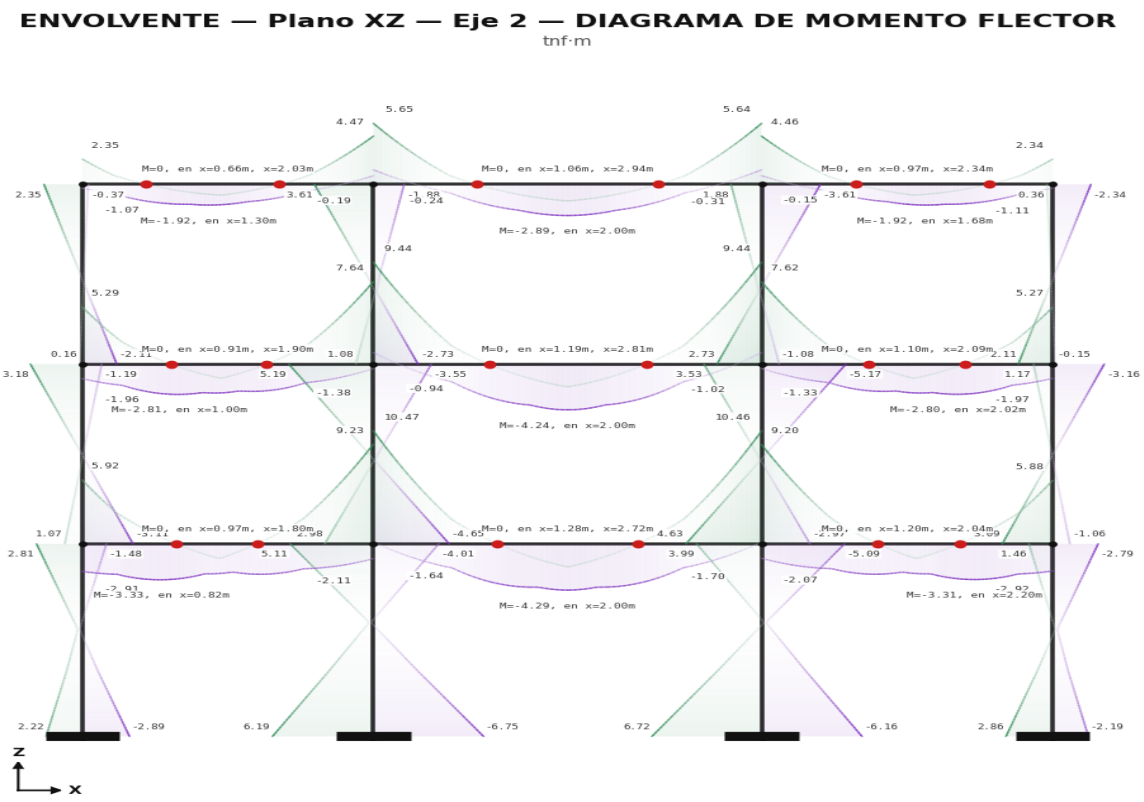


Figura 24: Envolvente de momentos — XZ, eje 2

5.2. Análisis estructural en el plano YZ

5.2.1 Metrado de cargas en el plano YZ

CARGA MUERTA

Descripción	Ancho trib (m)	P.U. Concreto (tnf/m³)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf/m)
Acabado	3.50	-	0.100	0.35
Tabiquería	3.50	-	0.100	0.35
Losa aligerada	3.50	-	0.423	1.48
Viga	0.10(sección)	2400.00	-	0.24
Muro	-	-	-	0.00

Tabla 68: Metrado de Carga Muerta — nivel 1, dirección Y-Y

Total Carga Muerta distribuida en nivel 1, dirección Y-Y	**2.42 tnf/m**

Tabla 69: Total de Carga Muerta distribuida — nivel 1, Y-Y

Descripción	Ancho trib (m)	P.U. Concreto (tnf/m³)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf/m)
Acabado	3.50	-	0.100	0.35
Tabiquería	3.50	-	0.100	0.35
Losa aligerada	3.50	-	0.423	1.48
Viga	0.10(sección)	2400.00	-	0.24
Muro	-	-	-	0.00

Tabla 70: Metrado de Carga Muerta — nivel 2, dirección Y-Y

Total Carga Muerta distribuida en nivel 2, dirección Y-Y	**2.42 tnf/m**

Tabla 71: Total de Carga Muerta distribuida — nivel 2, Y-Y

Descripción	Ancho trib (m)	P.U. Concreto (tnf/m³)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf/m)
Acabado	3.50	-	0.100	0.35
Losa aligerada	3.50	-	0.423	1.48
Viga	0.10(sección)	2400.00	-	0.24
Muro	-	-	-	0.00

Tabla 72: Metrado de Carga Muerta — nivel 3, dirección Y-Y

Total Carga Muerta distribuida en nivel 3, dirección Y-Y	**2.07 tnf/m**

Tabla 73: Total de Carga Muerta distribuida — nivel 3, Y-Y

CARGA VIVA

Descripción	Ancho trib (m)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Sobrecarga típica	3.50	-	0.200	0.70

Tabla 74: Sobrecarga de uso — piso típico, Y-Y

Total Carga Viva distribuida en piso típico, dirección Y-Y	**0.70 tnf/m**

Tabla 75: Total de Carga Viva distribuida — piso típico, Y-Y

Descripción	Ancho trib (m)	Longitud (m)	Peso (tnf/m²)	Peso (tnf)
Sobrecarga último nivel	3.50	-	0.100	0.35

Tabla 76: Sobrecarga — último nivel, Y-Y

Total Carga Viva distribuida en el último nivel, dirección Y-Y	**0.35 tnf/m**

Tabla 77: Total de Carga Viva distribuida — último nivel, Y-Y

5.2.2 Idealización de la estructura en el plano YZ

Para el plano YZ, correspondiente a la dirección principal, se presenta el eje más cargado, manteniendo las figuras de cargas, combinaciones y envolventes como base de verificación estructural del pórtico crítico.

Eje C

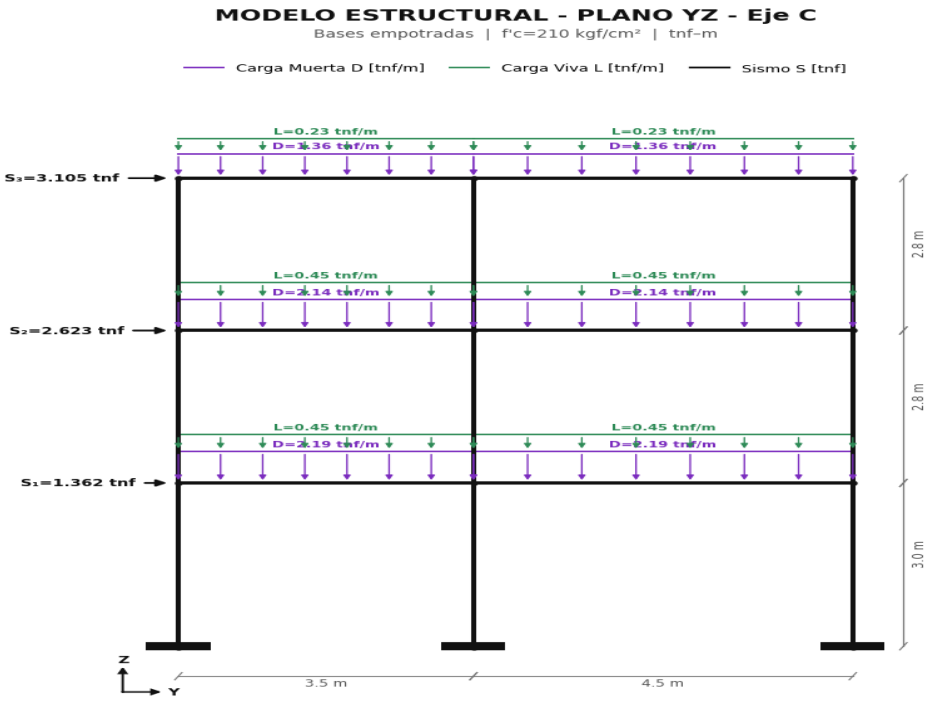


Figura 25: Modelo estructural — cargas distribuidas y fuerzas sísmicas (YZ), eje C

5.2.3 Combinaciones de carga en el plano YZ

Eje C

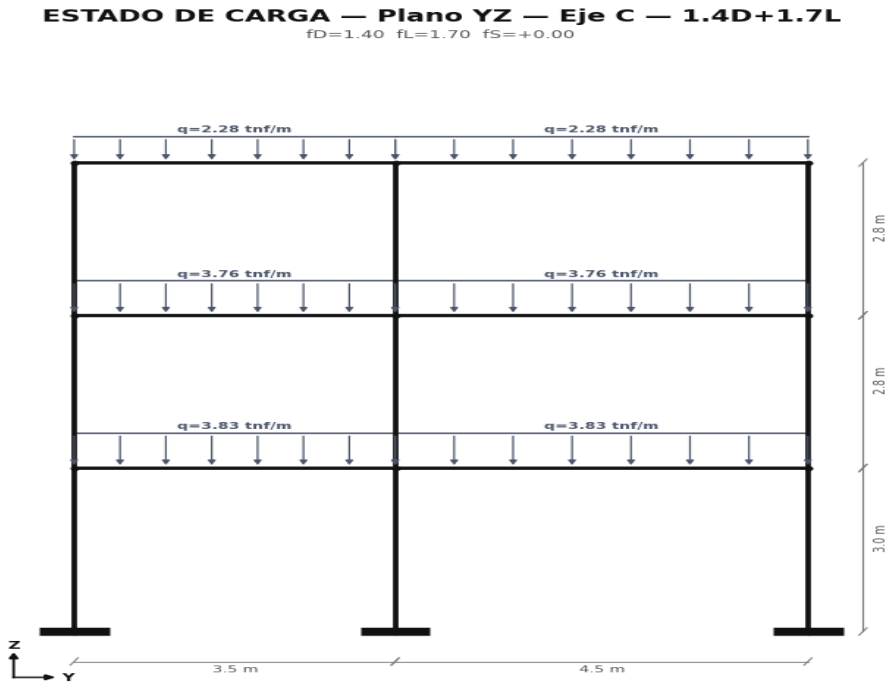


Figura 26: Combinación 1.4D+1.7L — estado de carga (YZ), eje C

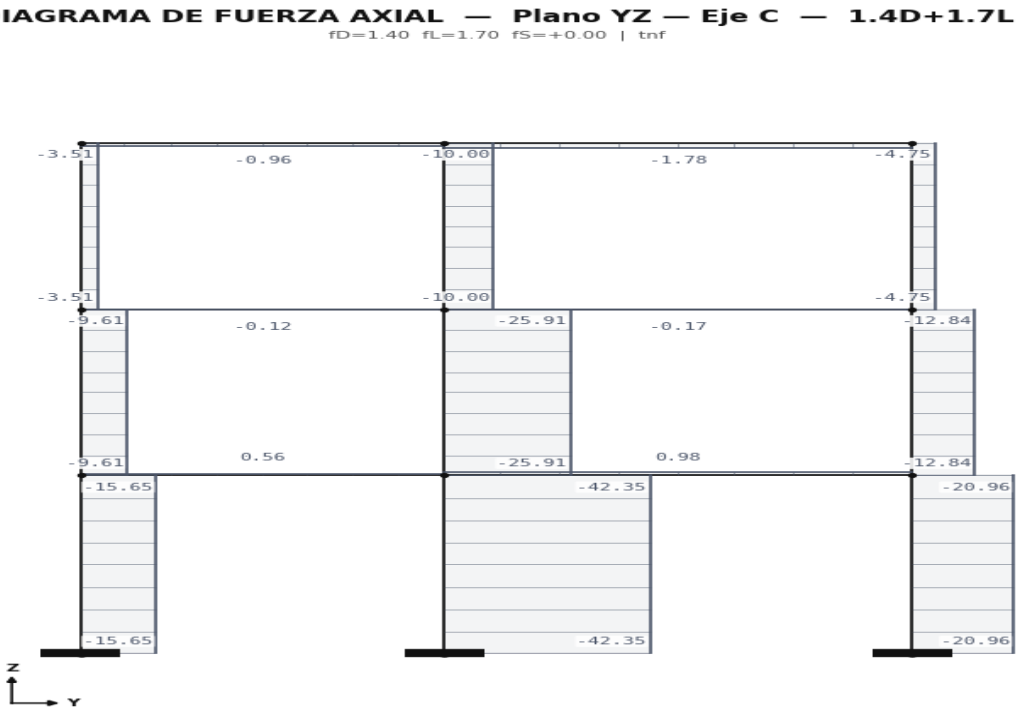


Figura 27: Combinación 1.4D+1.7L — axial (YZ), eje C

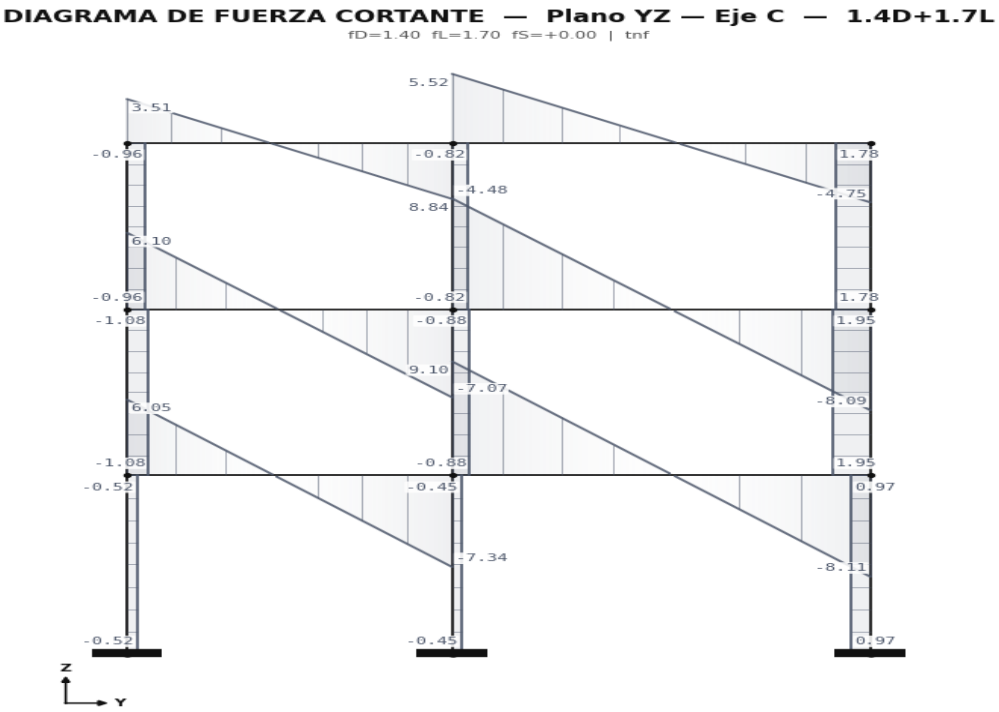


Figura 28: Combinación 1.4D+1.7L — cortante (YZ), eje C

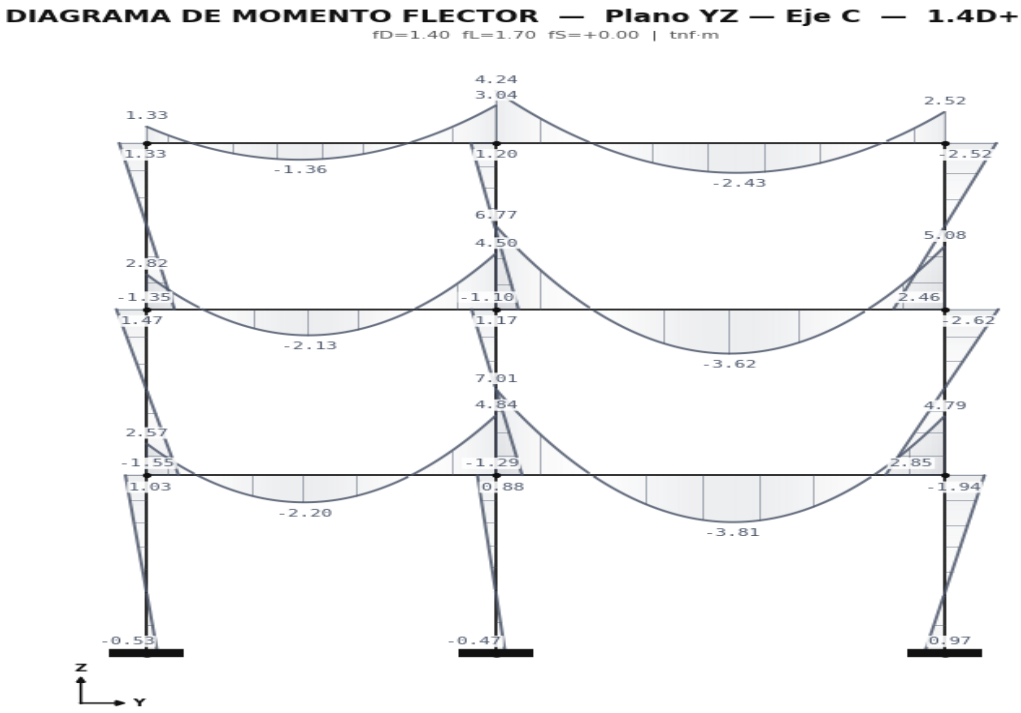


Figura 29: Combinación 1.4D+1.7L — momento (YZ), eje C

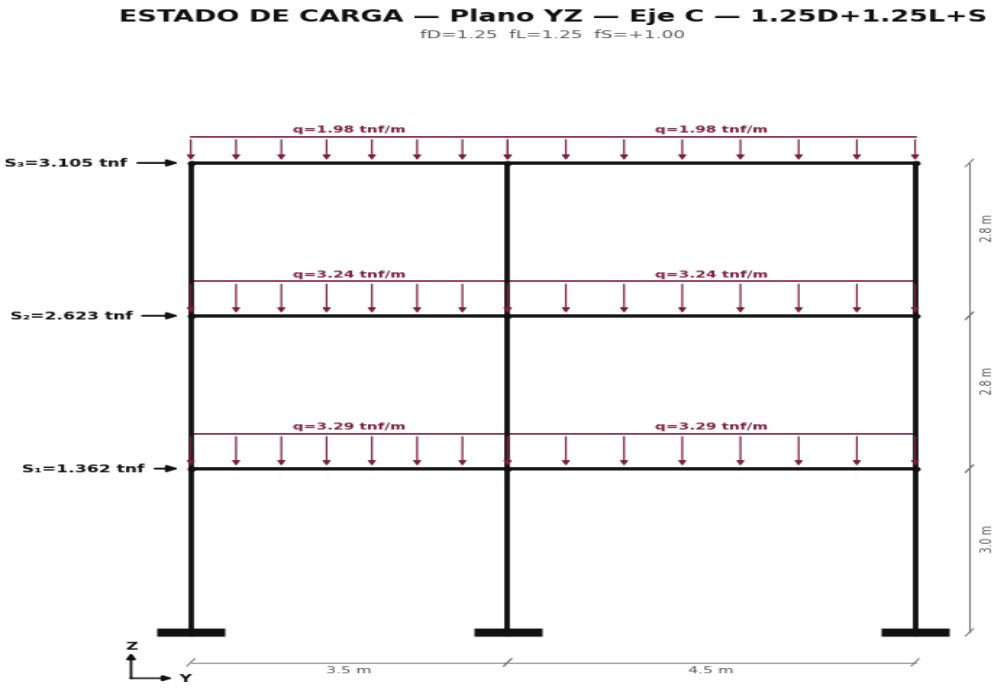


Figura 30: Combinación 1.25D+1.25L+S — estado de carga (YZ), eje C

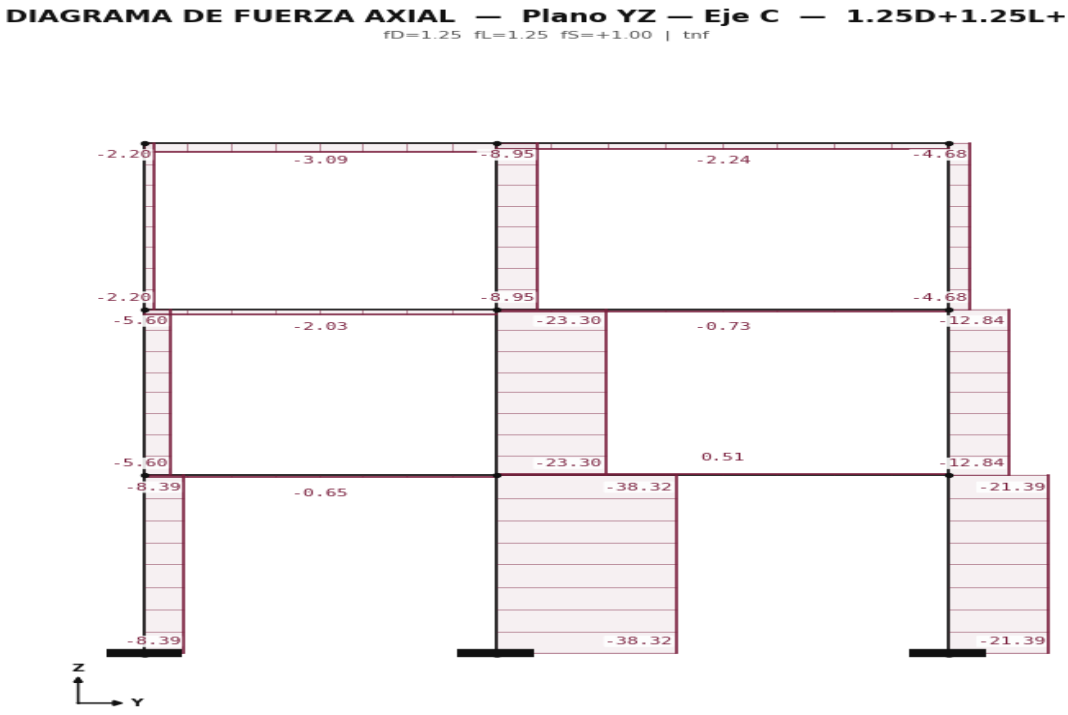


Figura 31: Combinación 1.25D+1.25L+S — axial (YZ), eje C

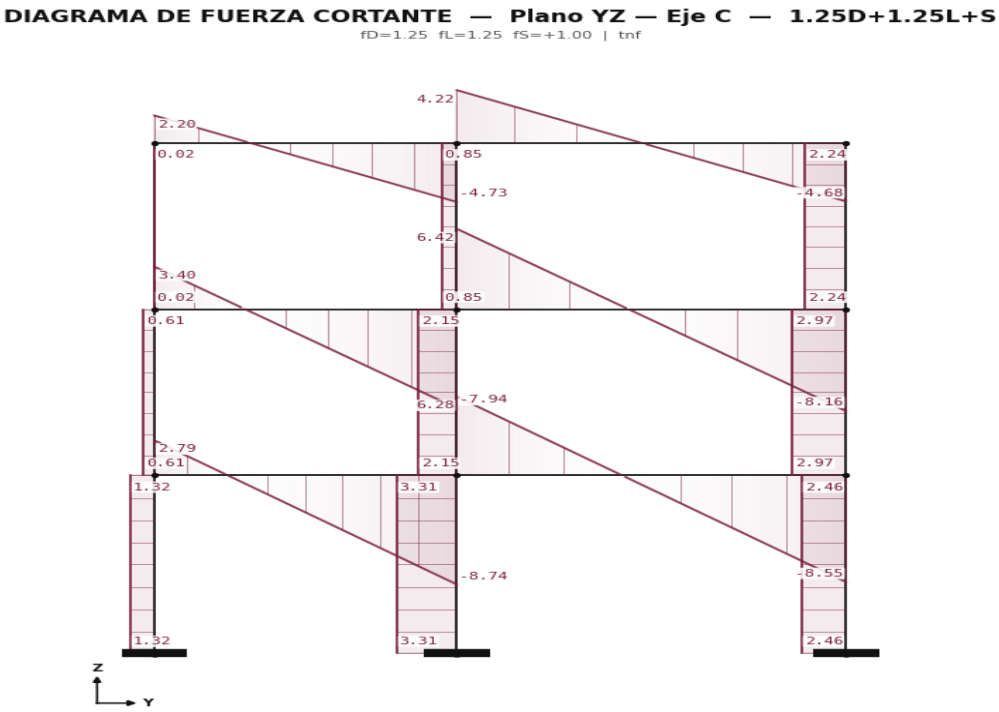


Figura 32: Combinación 1.25D+1.25L+S — cortante (YZ), eje C

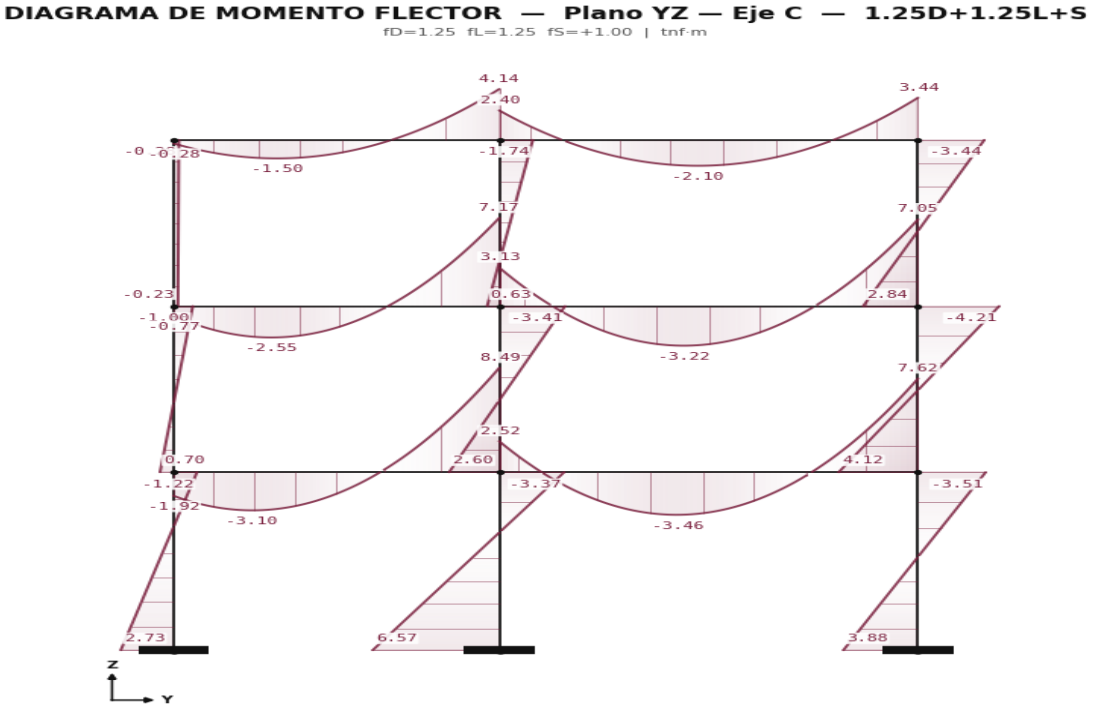


Figura 33: Combinación 1.25D+1.25L+S — momento (YZ), eje C

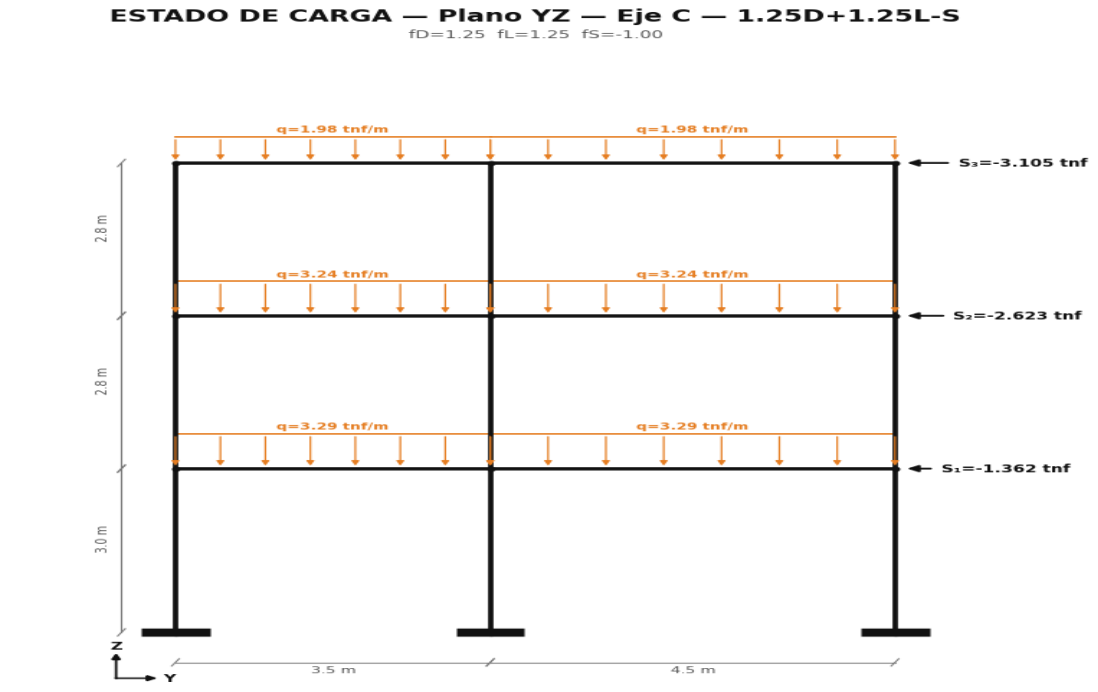


Figura 34: Combinación 1.25D+1.25L-S — estado de carga (YZ), eje C

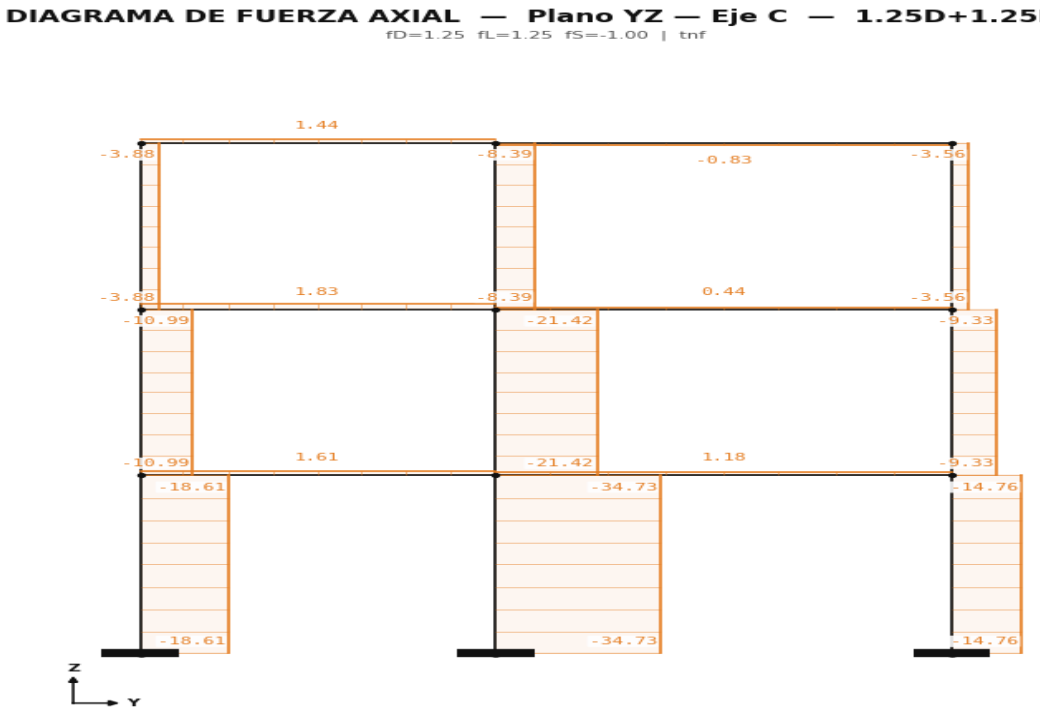


Figura 35: Combinación 1.25D+1.25L-S — axial (YZ), eje C

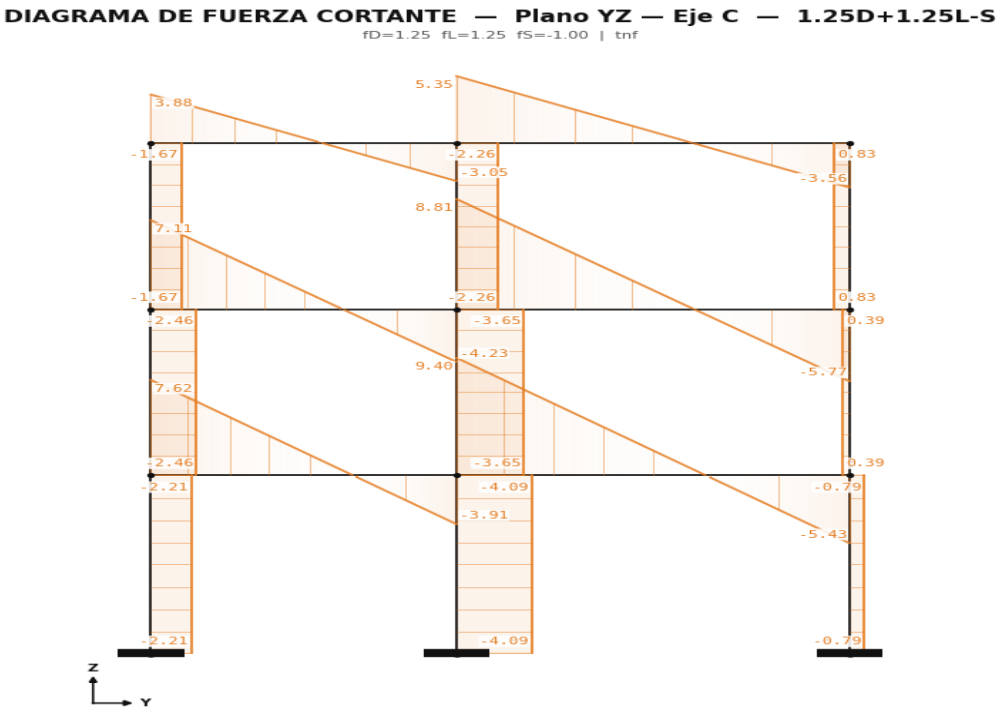


Figura 36: Combinación 1.25D+1.25L-S — cortante (YZ), eje C

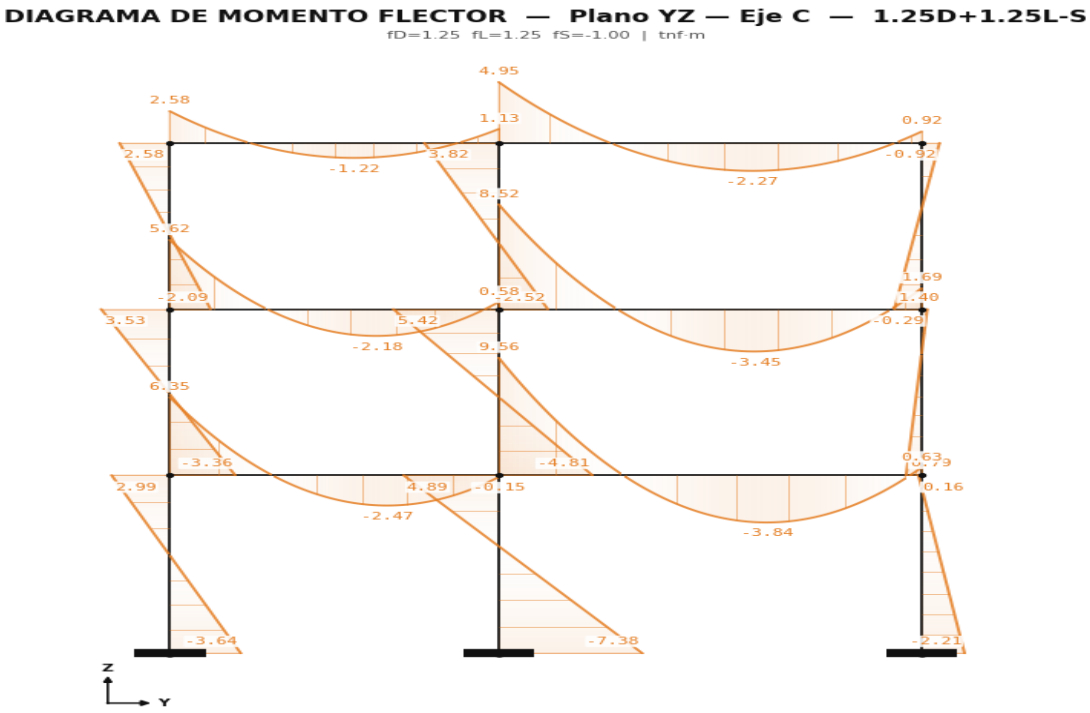


Figura 37: Combinación 1.25D+1.25L-S — momento (YZ), eje C

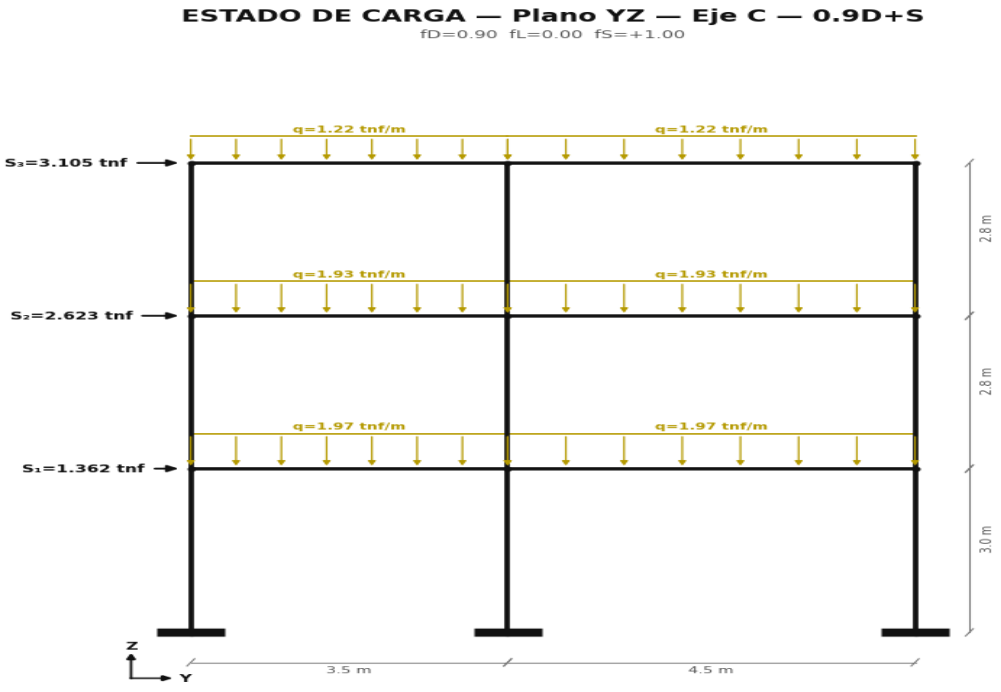


Figura 38: Combinación 0.9D+S — estado de carga (YZ), eje C

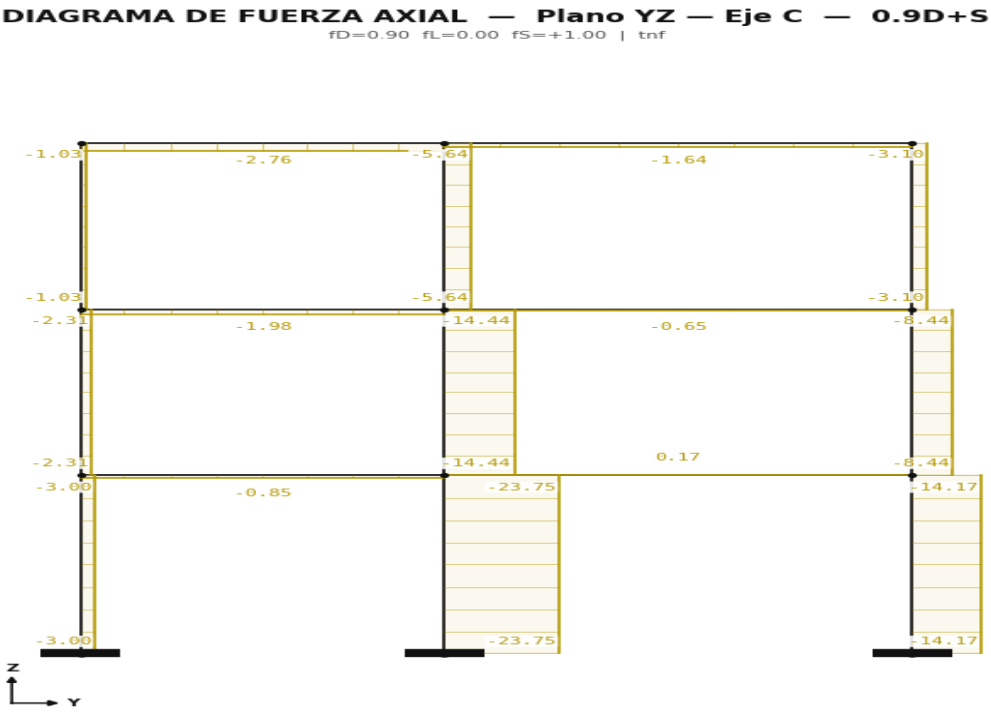


Figura 39: Combinación 0.9D+S — axial (YZ), eje C

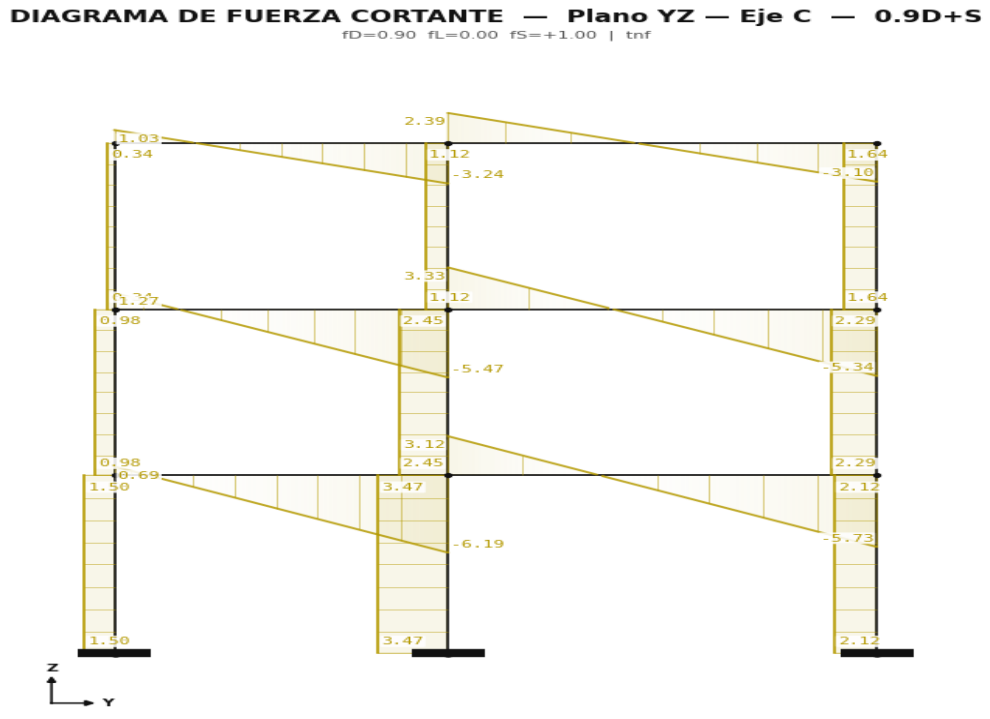


Figura 40: Combinación 0.9D+S — cortante (YZ), eje C

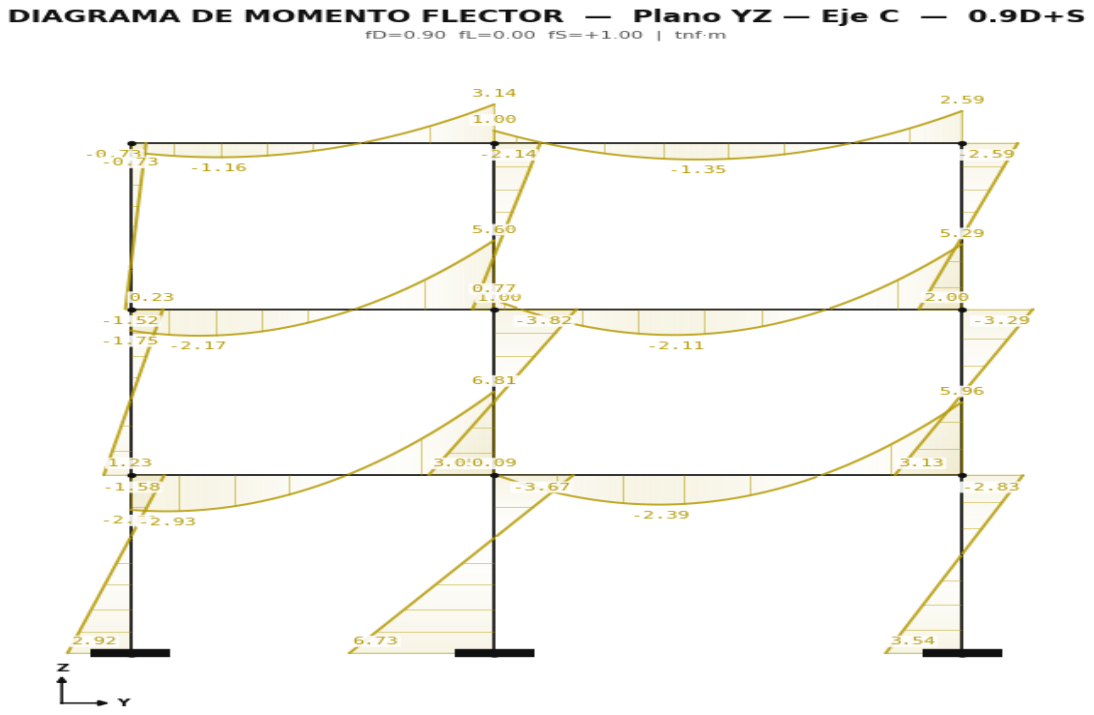


Figura 41: Combinación 0.9D+S — momento (YZ), eje C

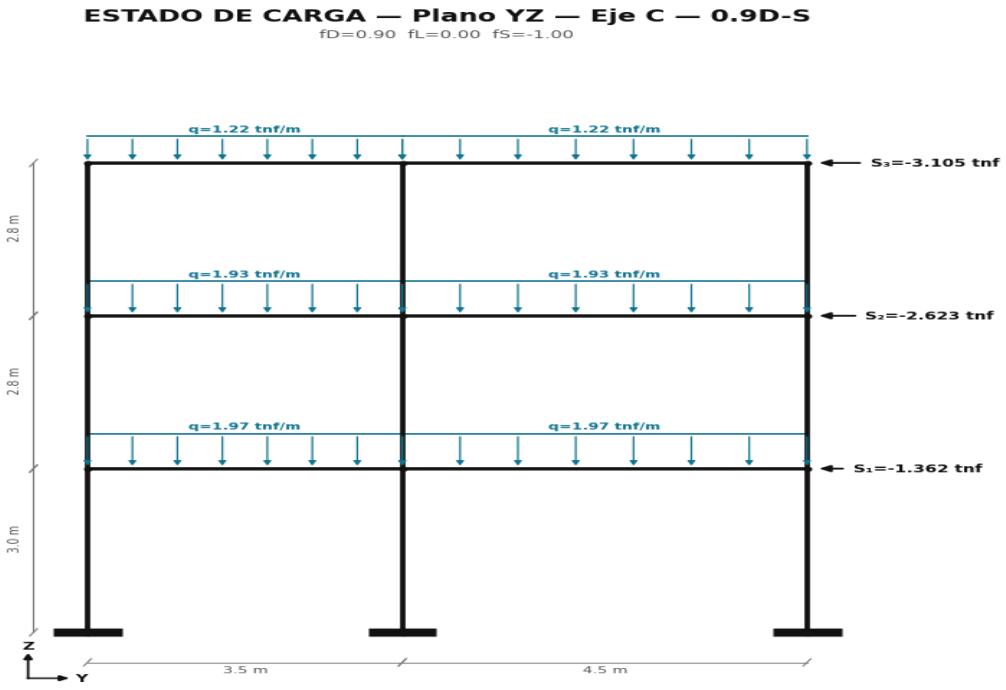


Figura 42: Combinación 0.9D-S — estado de carga (YZ), eje C

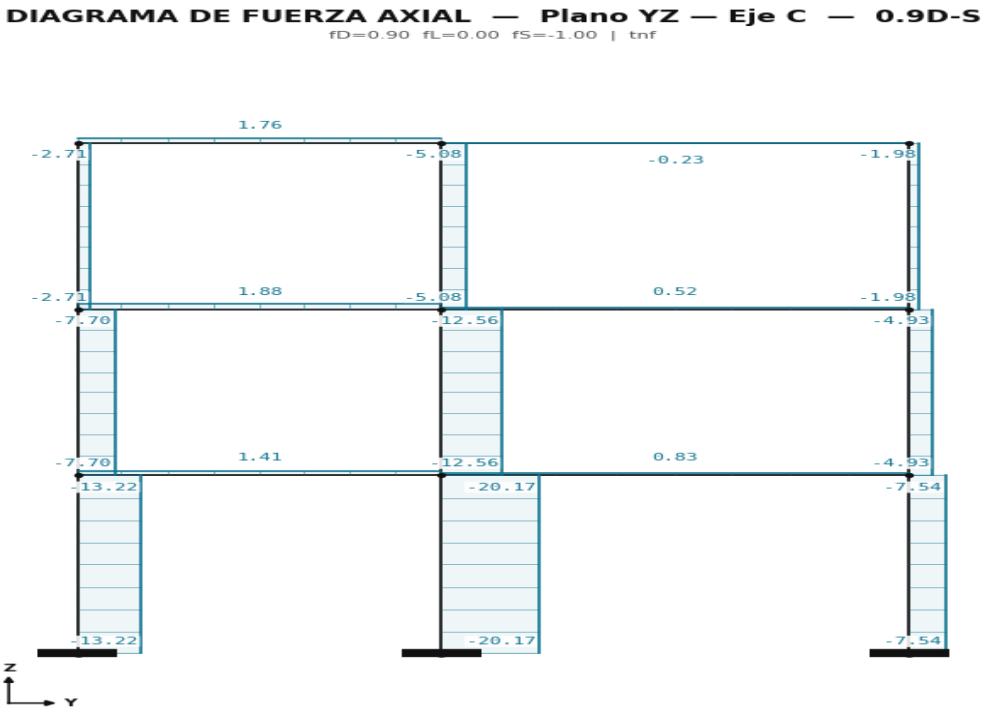


Figura 43: Combinación 0.9D-S — axial (YZ), eje C

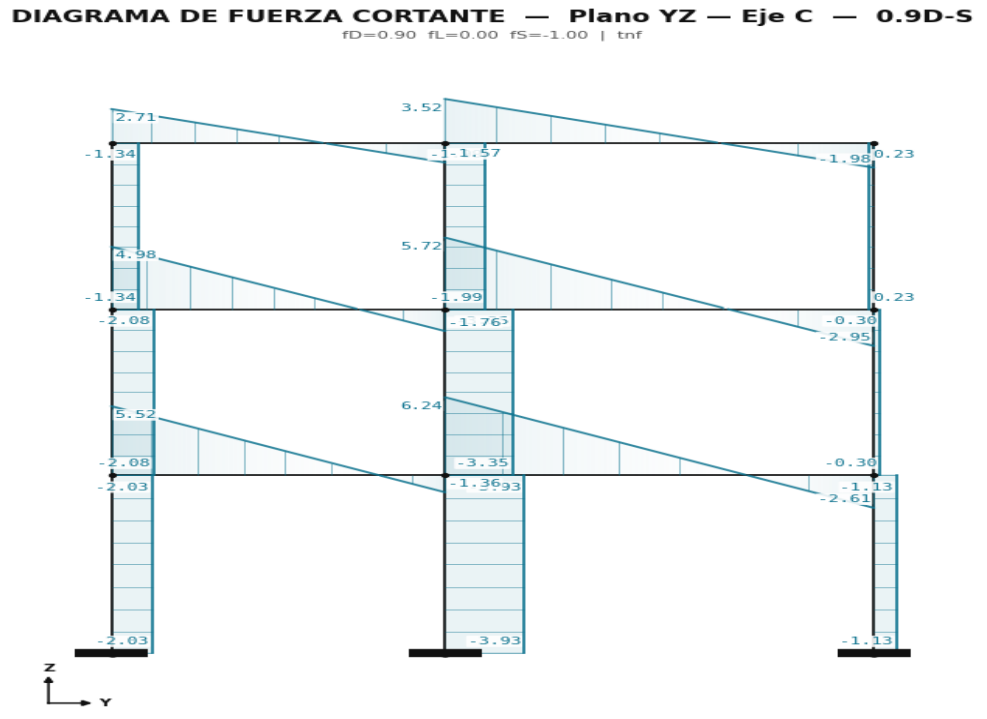


Figura 44: Combinación 0.9D-S — cortante (YZ), eje C

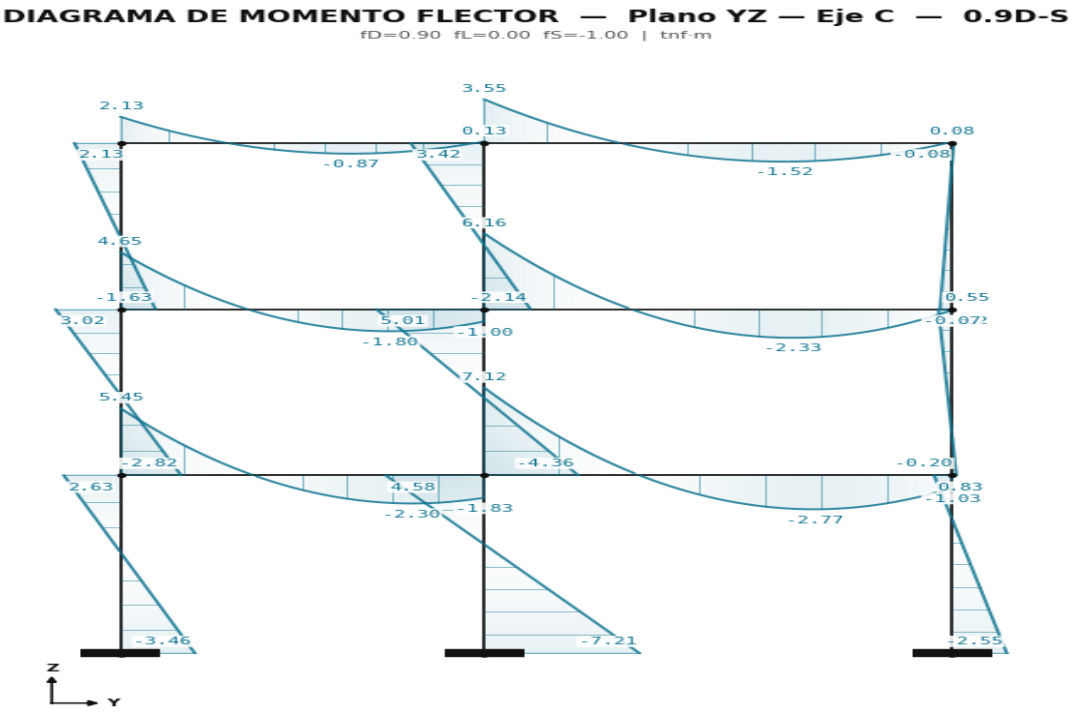


Figura 45: Combinación 0.9D-S — momento (YZ), eje C

5.2.5 Envolvente de esfuerzos en el plano YZ

Eje C

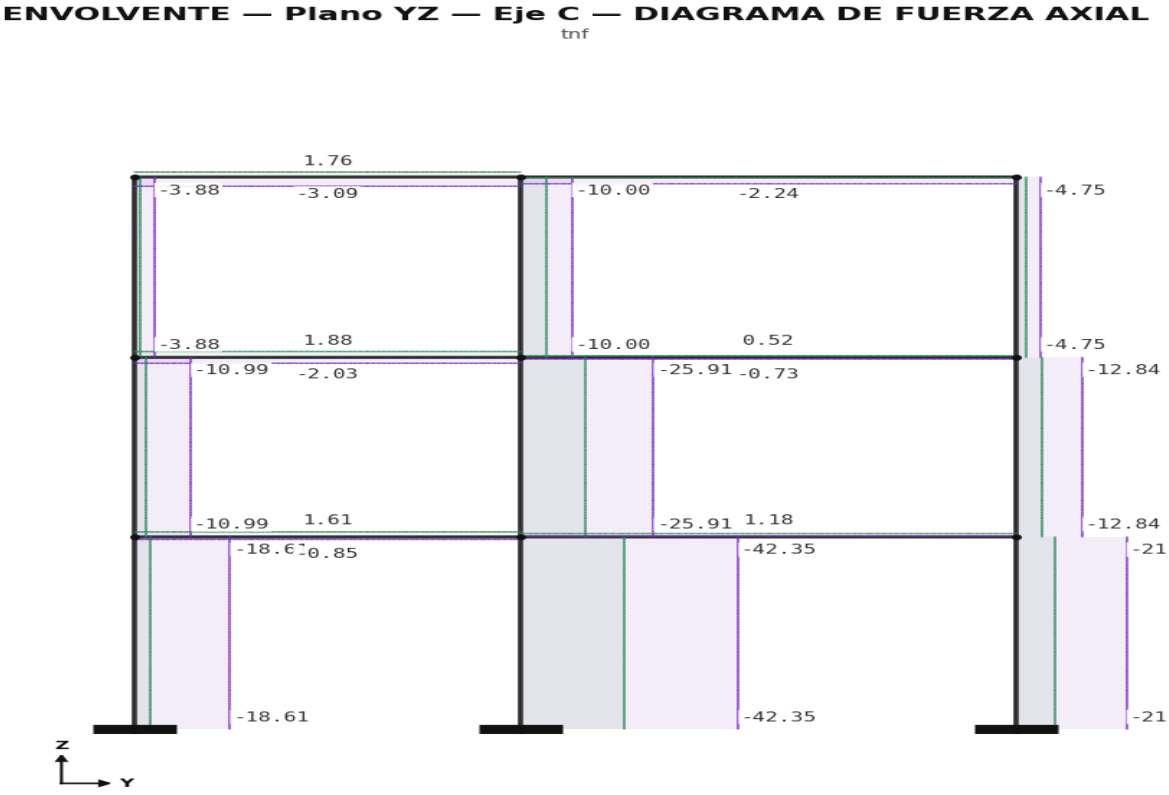


Figura 46: Envolvente de esfuerzos axiales — YZ, eje C

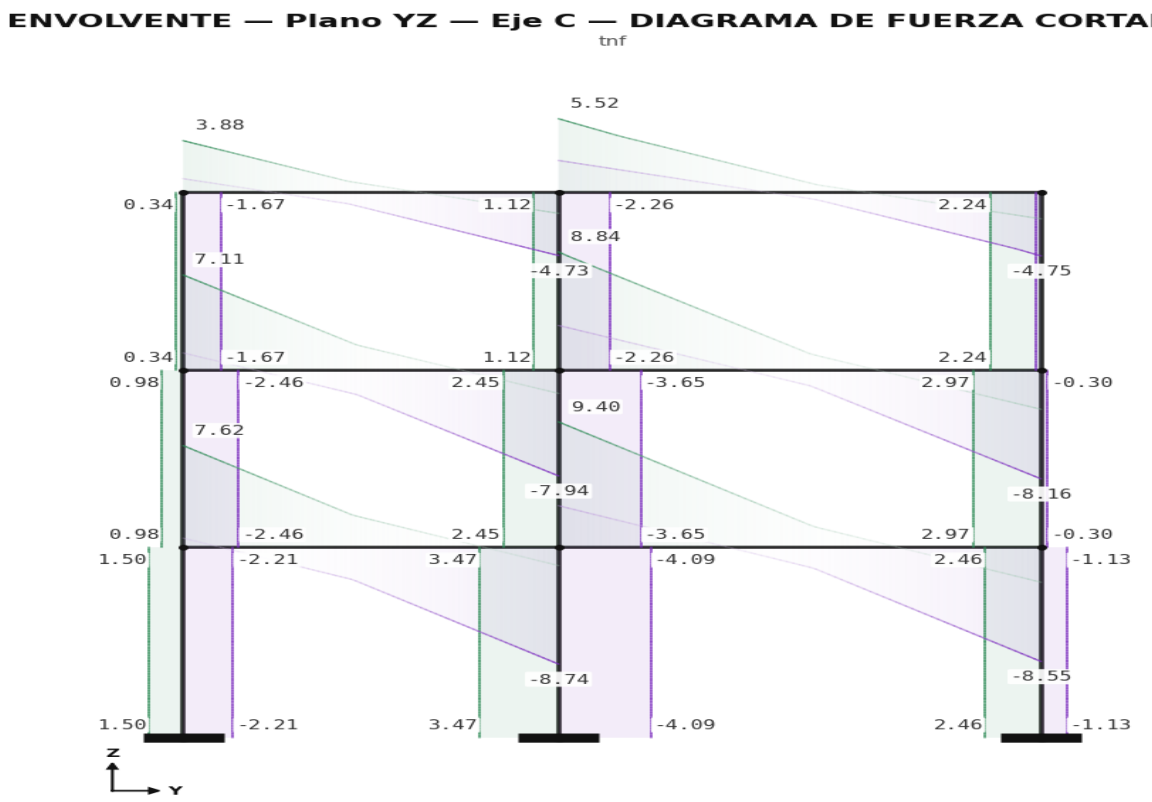


Figura 47: Envolvente de cortantes — YZ, eje C

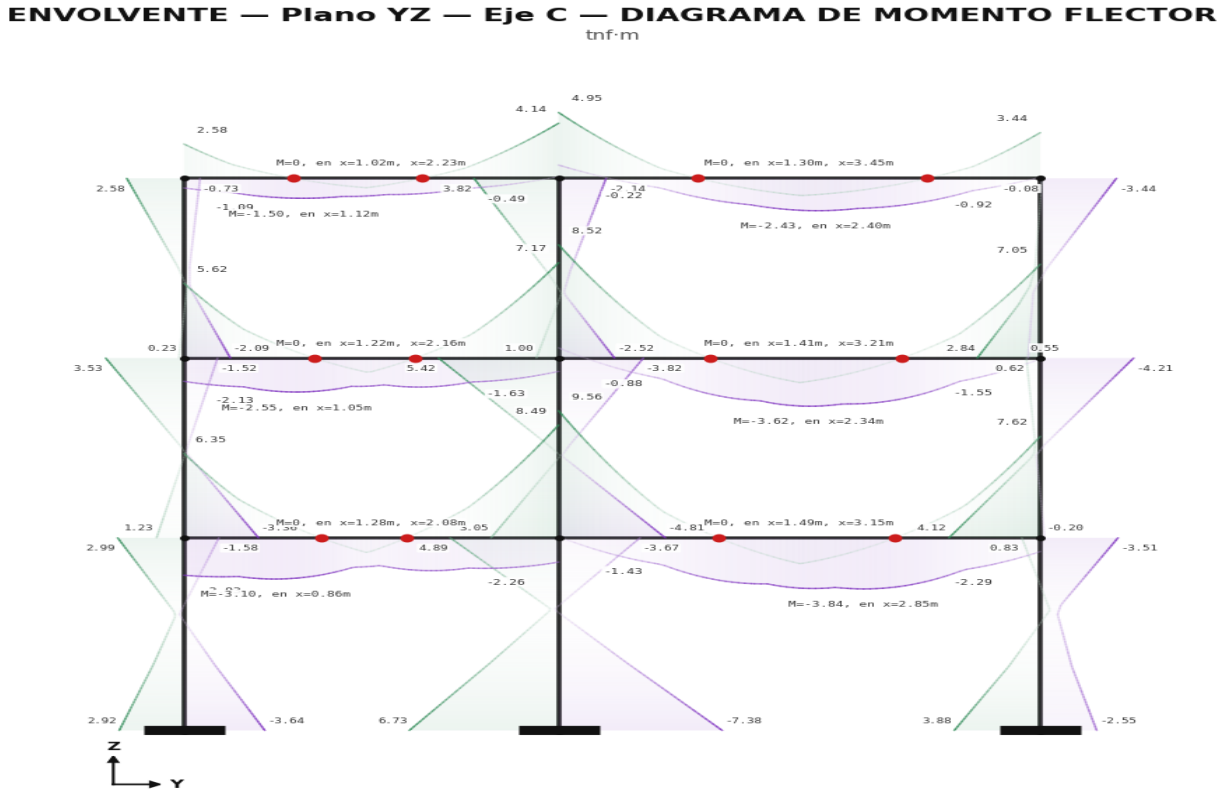
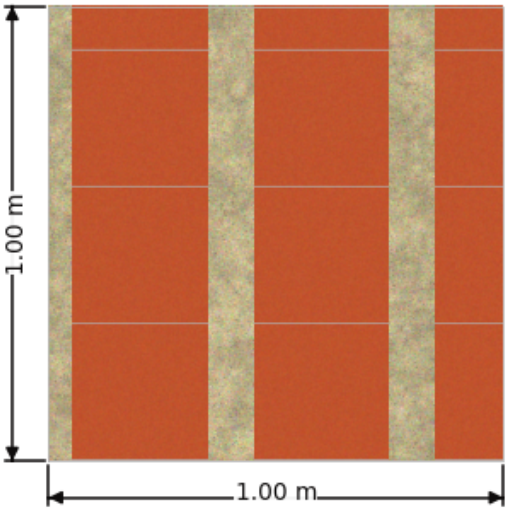


Figura 48: Envolvente de momentos — YZ, eje C

Anexo: Metrado de peso de losa aligerada por metro cuadrado

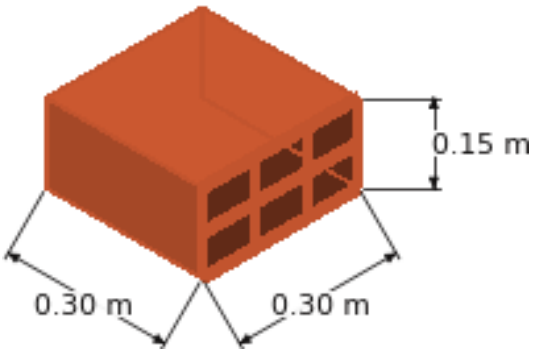




Datos

Ancho de ladrillo:	A_L = 0.30 m
Longitud de ladrillo:	L_L = 0.30 m
Altura de ladrillo:	H_L = 0.15 m
Ancho de vigueta:	V = 0.10 m
Espesor superior:	t = 0.05 m

$$CL/m^2 = 1 / ((A_L + V)\, L_L) = 1 / ((0.30 + 0.10) \times 0.30) = 8.33 \text{ ladrillos}/m^2$$



Cálculo de pesos (kgf/m²)

Elemento	Peso unitario	Cantidad	Total (kgf/m²)
Ladrillo	7.60 kgf / ladrillo	8.33 ladrillos/m²	63.31
Espesor de concreto	2400 kgf/m³	1.00×1.00×0.05 m³	120.00
Viguetas	2400 kgf/m³	0.10×2.50×0.15 m³	90.00
Acabados	-	-	150.00
		P_{LOSA}	**423.31**

Notas: Se adopta t = 0.05 m como capa superior y Altura de ladrillo H = H_L – t. El peso por ladrillo se adopta según alturas estándar: 17 cm→6.80 kgf, 20 cm→7.60 kgf, 25 cm→10.00 kgf.