

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**“Análisis comparativo del diseño estructural de una vivienda
aporticada de cinco pisos con losa aligerada de ladrillo de
arcilla y poliestireno utilizando ETABS, Huánuco - 2025”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: Varón López, Víctor Rubén

ASESORA: Granados Martinez, Daisy Guadalupe

HUÁNUCO – PERÚ

2025

U

D

H



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANCAYO
<http://www.udh.edu.pe>

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Estructuras

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería civil

Disciplina: Ingeniería civil

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniero Civil

Código del Programa: P07

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44951313

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44533422

Grado/Título: Maestro en: gestión del sistema ambiental

Código ORCID: 0009-0002-2547-1688

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Trujillo Ariza, Yelen Lisseth	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	70502371	0000-0002-5650-3745
2	Valdivieso Echevarria, Martin Cesar	Maestro en gestión pública	22416570	0000-0002-0579-5135
3	Jara Trujillo, Alberto Carlos	Maestro en ingeniería, con mención en gestión ambiental y desarrollo sostenible	41891649	0000-0001-8392-1769



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) CIVIL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 16:30 horas del día viernes 24 de octubre de 2025, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron los Jurados Calificadores integrado por los docentes:

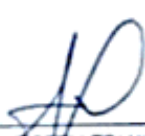
❖ MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA	PRESIDENTE
❖ MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA	SECRETARIO
❖ MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO	VOCAL

Nombrados mediante la RESOLUCIÓN No 2174-2025-D-FI-UDH, para evaluar la Tesis intitulada: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA APORTICADA DE CINCO PISOS CON LOSA ALIGERADA DE LADRILLO DE ARCILLA Y POLIESTIRENO UTILIZANDO ETABS, HUÁNUCO - 2025", presentado por el (la) Bachiller. Bach. Victor Ruben VARON LOPEZ, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil.

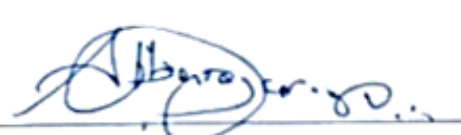
Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) ... Aprobado por ... Unanimidad con el calificativo cuantitativo de ... 14 ... y cualitativo de ... Suficiente (Art. 47).

Siendo las 17:40 horas del día 24 del mes de octubre del año 2025, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


MG. YELEN LISSETH TRUJILLO ARIZA
DNI: 70502371
ORCID: 0000-0002-5650-3745
PRESIDENTE


MG. MARTIN CESAR VALDIVIESO ECHEVARRIA
DNI: 22416570
ORCID: 0000-0002-0579-5135
SECRETARIO (A)


MG. ALBERTO CARLOS JARA TRUJILLO
DNI: 41891649
ORCID: 0000-0001-8392-1769
VOCAL



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: VÍCTOR RUBÉN VARÓN LÓPEZ, de la investigación titulada "Análisis comparativo del diseño estructural de una vivienda aporticada de cinco pisos con losa aligerada de ladrillo de arcilla y poliestireno utilizando ETABS, Huánuco - 2025", con asesor(a) DAISY GUADALUPE GRANADOS MARTINEZ, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 2133-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA CIVIL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 14 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 11 de agosto de 2025



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

34. Varón López, Víctor Rubén.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

4%

2

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.uns.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.unj.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%

7

repositorio.unc.edu.pe

Fuente de Internet

<1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO

D.N.I.: 47074047

cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA

D.N.I.: 71345687

cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A Dios, por darme la vida, la fortaleza en los momentos más difíciles y la sabiduría para seguir adelante cuando las fuerzas parecían agotarse.

A mis amados padres, por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y por enseñarme con su ejemplo el verdadero significado del esfuerzo y la perseverancia.

A mis hermanos, por ser mi inspiración constante, por su apoyo inquebrantable y por estar siempre presentes en cada etapa de este camino.

Este logro es también de ustedes. Con todo mi cariño y gratitud, les dedico este importante paso en mi vida profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la vida, la fortaleza en los momentos más difíciles y la sabiduría para seguir adelante cuando las fuerzas parecían agotarse.

A mis amados padres, por su amor incondicional, sus sacrificios silenciosos y por enseñarme con su ejemplo el verdadero significado del esfuerzo y la perseverancia.

A mis hermanos, por ser mi inspiración constante, por su apoyo inquebrantable y por estar siempre presentes en cada etapa de este camino.

Este logro es también de ustedes. Con todo mi cariño y gratitud, les dedico este importante paso en mi vida profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	XVI
CAPÍTULO I.....	17
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	18
1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO	19
1.3. OBJETIVOS	19
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	20
1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	21
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	21
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.6.1. VIABILIDAD TEÓRICA	22
1.6.2. VIABILIDAD ECONÓMICA	22
1.6.3. VIABILIDAD TEMPORAL.....	23
CAPÍTULO II.....	24
MARCO TEÓRICO	24
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	24
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	27
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	29

2.2.	BASES TEÓRICAS	31
2.2.1.	SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN APORTICADO	31
2.2.2.	LOSA ALIGERADA DE LADRILLO DE ARCILLA	33
2.2.3.	LOSA ALIGERADA DE LADRILLO DE POLIESTIRENO	34
2.2.4.	DISEÑO ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES.....	36
2.2.5.	NORMA E.060	38
2.2.6.	NORMA E.030	39
2.2.7.	SOFTWARE ETABS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL	43
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES	43
2.4.	HIPÓTESIS	46
2.4.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	46
2.4.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	46
2.5.	VARIABLES	47
2.5.1.	VARIABLE DEPENDIENTE	47
2.5.2.	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	47
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	48
CAPÍTULO III.....		49
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		49
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	49
3.1.1.	ENFOQUE.....	49
3.1.2.	ALCANCE O NIVEL	50
3.1.3.	DISEÑO	50
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	51
3.2.1.	POBLACIÓN.....	51
3.2.2.	MUESTRA	51
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	52
3.3.1.	TÉCNICA DE LA OBSERVACIÓN DIRECTA	52
3.3.2.	INSTRUMENTOS DE RECOJO DE DATOS.....	53
3.4.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	53
CAPÍTULO IV		55
RESULTADOS		55
4.1.	PROCESAMIENTO DE DATOS	55

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	116
CAPÍTULO V	124
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	124
5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	124
CONCLUSIONES	127
RECOMENDACIONES.....	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131
ANEXOS	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Factores de zona	41
Tabla 2 Clasificación de los perfiles de suelo.....	41
Tabla 3 Factor de suelo	42
Tabla 4 Periodos de retorno	42
Tabla 5 Límites de distorsión del entrepiso	42
Tabla 6 Resultados de los desplazamientos máximos para sismos en ambas direcciones para la losa aligerada con ladrillos de arcilla.....	106
Tabla 7 Resultados para el área de acero en las columnas críticas de la estructura con losa aligerada de ladrillos de arcilla.....	107
Tabla 8 Resultados para el área de aceros en las columnas críticas de la estructura para losa aligerada con casetones de poliestireno.....	113
Tabla 9 Resultados de los pesos para cada piso para la losa aligerada con casetones de poliestireno	114
Tabla 10 Parámetros y Fórmula de Cálculo según la Normativa E.030	115
Tabla 11 Resultados de Fuerza Cortante Basal Calculada (Dirección X)...	116
Tabla 12 Estadísticas descriptivas para ambas losas aligeradas en análisis	117
Tabla 13 Prueba MANOVA – Wilks’ Lambda para muestras multivariantes	117
Tabla 14 Pruebas Univariadas (ANOVAs) para Cada Variable Dependiente	118
Tabla 15 Desplazamientos máximos para la estructura con los dos tipos de losa.....	119
Tabla 16 Prueba t de Student para muestras emparejadas de los desplazamientos máximos en losa aligerada con casetones de poliestireno	119
Tabla 17 Resultados estadísticos de la losa aligera de poliestireno vs losa aligerada de ladrillos de arcilla.....	120
Tabla 18 Prueba de t student para muestras emparejadas para la losa aligerada con ladrillos de arcilla y la losa aligerada con casetones de poliestireno	121

Tabla 19 Resultados estadísticos para la losa aligerada con ladrillos de arcilla y para la losa aligerada con casetones de poliestireno	122
Tabla 20 Prueba t de Student para muestras emparejadas para el análisis de diferencias (Losa aligerada con ladrillos de arcilla – Losa aligerada con casetones de poliestireno)	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sistema aporticado, las cargas son soportadas por las vigas y columnas	32
Figura 2 Zonas sísmicas en el Perú	40
Figura 3 Ventana de inicio del software ETABS.....	55
Figura 4 Tipos de plantillas	56
Figura 5 Configuración de las unidades.....	56
Figura 6 Configuración de dimensiones de la grilla.....	57
Figura 7 Configuración de las elevaciones de la grilla	58
Figura 8 Vista en planta y elevación de las grillas.....	59
Figura 9 Vista 3d de las grillas	59
Figura 10 Creación del material concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	60
Figura 11 Diagrama no lineal del concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ no confinado.....	61
Figura 12 Creación del material acero $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$	62
Figura 13 Propiedades del acero $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$	63
Figura 14 Diagrama no lineal del acero $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$	64
Figura 15 Creación de los diámetros de las varillas de refuerzo	65
Figura 16 Creación de las secciones para los elementos estructurales rectangulares de concreto	65
Figura 17 Creación de la columna C1.....	66
Figura 18 Aceros en la columna C1	67
Figura 19 Creación de la columna C2.....	68
Figura 20 Aceros en la columna C2	69
Figura 21 Creación de la viga peraltada 101.....	70
Figura 22 Características del acero de refuerzo en vigas	71
Figura 23 Creación de la viga peraltada 102.....	71
Figura 24 Características del acero de refuerzo en vigas	72
Figura 25 Creación de la placa de refuerzo de 20cm de espesor	73
Figura 26 Creación de la losa aligerada de 0,20m de espesor	74
Figura 27 Creación de la losa de escalera.....	75
Figura 28 Colocación de columnas C1 y C2	76
Figura 29 Colocación de vigas peraltadas de 30x40cm y 25x40cm	76
Figura 30 Restricción de la base como tipo empotrada	77

Figura 31 Comando para restricción de la base como tipo empotrada	77
Figura 32 Colocación de la losa aligerada	78
Figura 33 Colocación de la placa.....	78
Figura 34 Asignación de etiqueta de placa	79
Figura 35 Colocación de la escalera	80
Figura 36 Detalle de losa aligerada	82
Figura 37 Plano de la losa aligerada típica con ladrillos de arcilla.....	83
Figura 38 Detalle de losa aligerada con ladrillos de arcilla.....	84
Figura 39 Plano de la losa aligerada con casetones de poliestireno	85
Figura 40 Detalle de losa aligerada con casetones de poliestireno.....	86
Figura 41 Asignación de carga muerta para la losa con ladrillos de arcilla ..	88
Figura 42 Asignación de la carga viva	88
Figura 43 Asignación de la carga muerta en las vigas para el eje a y c	89
Figura 44 Asignación de la carga muerta en la viga para el eje B.....	89
Figura 45 Asignación de la carga muerta en la viga para el eje 1 al 6	90
Figura 46 Asignación de carga muerta en las columnas	90
Figura 47 Vista general de las cargas muertas y vivas	91
Figura 48 Creación de los diafragmas rígidos.....	91
Figura 49 Asignación de los brazos rígidos	92
Figura 50 Vista general de los brazos rígidos	93
Figura 51 Asignación del peso sísmico.....	93
Figura 52 Creación de los patrones de carga	94
Figura 53 Definición de la combinación de carga viva y carga muerta	95
Figura 54 Asignación de los casos modales	96
Figura 55 Consideración de todos los grados de libertad	97
Figura 56 Ejecución del modelo.....	97
Figura 57 Resultados del análisis modal de la masa participativa para la losa aligerada con ladrillos de arcilla	98
Figura 58 Resultados de la fuerza por cada piso para la losa aligerada con ladrillos de arcilla	99
Figura 59 Resultados de los pesos para cada piso para la losa aligerada con ladrillos de arcilla	100
Figura 60 Definición del sismo en x e y para la losa aligerada con ladrillos de arcilla	100

Figura 61 Parámetros para el sismo en x para la losa aligerada con ladrillos de arcilla	101
Figura 62 Parámetros para el sismo en y para la losa aligerada con ladrillos de arcilla	102
Figura 63 Creación de la combinación de cargas para la deriva sísmica en X para la losa aligerada con ladrillos de arcilla.....	103
Figura 64 Creación de la combinación de cargas para la deriva sísmica en Y para la losa aligerada con ladrillos de arcilla.....	104
Figura 65 Resultados de los desplazamientos máximos tras sufrir cargas de sismo en X para la losa aligerada con ladrillos de arcilla	105
Figura 66 Resultados de los desplazamientos máximos tras sufrir cargas de sismo en Y para la losa aligerada con ladrillos de arcilla	105
Figura 67 Vista de la distribución de aceros en toda la estructura para la losa aligerada con ladrillos de arcilla	108
Figura 68 Asignación de la carga de la losa aligerada con casetones de poliestireno	109
Figura 69 Vista general de las cargas que actúan sobre la estructura para losa aligerada con casetones de poliestireno.....	110
Figura 70 Ejecución del modelo para losa aligerada con casetones de poliestireno	111
Figura 71 Resultados de los desplazamientos máximos tras cargas de sismo en X para losa aligerada con casetones de poliestireno	112
Figura 72 Resultados de los desplazamientos máximos tras cargas de sismo en Y para losa aligerada con casetones de poliestireno	113

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo evaluar el impacto en el comportamiento estructural y sísmico de una vivienda aporticada de cinco pisos al sustituir la losa aligerada de ladrillos de arcilla por una de casetones de poliestireno. La metodología empleada consistió en modelar la estructura en el software ETABS, realizando análisis sísmico estático en direcciones X e Y obteniendo indicadores clave como los desplazamientos máximos, el área de acero requerida en columnas críticas y la fuerza cortante basal, todo esto siguiendo los lineamientos de la normativa E.030. Posteriormente, se contrastaron estos resultados mediante pruebas estadísticas (pruebas t para muestras emparejadas) que permitieron comparar directamente ambos tipos de losa.

Los resultados obtenidos indican que la estructura con losa aligerada de poliestireno presenta un desempeño estructural superior en comparación con la de ladrillos de arcilla. En la dirección X, el desplazamiento máximo registrado para la losa de poliestireno fue de 0,00674 m, mientras que para la de arcilla fue de 0,0107 m, con una diferencia media de 0,00396 m, respaldada por una prueba de contraste ($t=33,43$; $p<0,001$). Asimismo, el área de acero requerida en las columnas críticas fue menor en el modelo con losa de poliestireno, registrando un valor promedio de 0,001514 m² frente a 0,002014 m² en el modelo con ladrillos de arcilla, lo que representa una reducción de 0,000500 m², con un respaldo estadístico a través de la prueba de contraste ($t=13,23$; $p<0,001$). Finalmente, la fuerza cortante basal en la estructura con losa de poliestireno fue de 48,43 Tn, en comparación con los 67,38 Tn obtenidos en la estructura con losa de ladrillos de arcilla, evidenciando una reducción significativa de 18,95 Tn, con un nivel de significancia estadística respaldado por la prueba de contraste ($t=6,93$; $p<0,05$).

En conclusión, se evidenció que la sustitución de la losa aligerada de ladrillos de arcilla por una de casetones de poliestireno mejora el comportamiento sísmico y estructural de la vivienda aporticada de cinco pisos, evidenciado por menores desplazamientos en dirección X, una reducción en la demanda de refuerzo y una disminución de la fuerza cortante basal. Estos hallazgos respaldan el uso de materiales más ligeros en el diseño estructural,

ya que no solo optimizan el desempeño sísmico, sino que también permiten un uso más eficiente de los materiales y una reducción en los costos de construcción.

Palabras clave: Diseño estructural, losa aligerada, modelación, poliestireno, vivienda aporticada.

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the impact on the structural and seismic performance of a five-story moment-resisting frame building when replacing the traditional clay brick slab with a lightweight slab made of polystyrene blocks. The methodology involved modeling the structure using ETABS software, conducting static seismic analysis in both the X and Y directions, and obtaining key indicators such as maximum displacements, required steel area in critical columns, and base shear force, all in accordance with the E.030 Seismic Design Code. These results were then compared using statistical tests (paired t-tests) to directly assess the differences between the two slab types.

The results indicate that the structure with the polystyrene slab showed superior structural performance compared to the clay brick slab. In the X direction, the maximum displacement recorded for the polystyrene slab was 0.00674 m, while the clay brick slab registered 0.0107 m, with a mean difference of 0.00396 m, supported by a t-test ($t=33.43$; $p<0.001$). Similarly, the required steel area in critical columns was lower in the polystyrene slab model, averaging 0.001514 m² compared to 0.002014 m² in the clay brick model—representing a reduction of 0.000500 m², with statistical support ($t=13.23$; $p<0.001$). Lastly, the base shear force in the structure with the polystyrene slab was 48.43 tons, compared to 67.38 tons in the clay brick slab structure, showing a significant reduction of 18.95 tons, with statistical significance ($t=6.93$; $p<0.05$).

In conclusion, the replacement of the traditional clay brick slab with a polystyrene block slab improves the seismic and structural behavior of the five-story moment-resisting frame building, as evidenced by reduced displacements in the X direction, lower reinforcement demands, and decreased base shear force. These findings support the use of lighter materials in structural design, as they not only enhance seismic performance but also promote more efficient use of materials and cost reduction in construction.

Keywords: Structural design, lightweight slab, modeling, polystyrene, moment-resisting, frame house.

INTRODUCCIÓN

La creciente preocupación por la resiliencia de las edificaciones frente a eventos sísmicos ha impulsado la evolución de normativas y técnicas de diseño estructural, permitiendo el desarrollo de soluciones innovadoras que aseguren la integridad de las construcciones durante terremotos. Históricamente, la ingeniería sísmica ha avanzado notablemente, integrando métodos de análisis que hoy permiten evaluar con mayor precisión el comportamiento dinámico de las estructuras. A nivel nacional, la aplicación de normativas de diseño sismorresistente, tales como la normativa E.030, ha sido fundamental para mitigar los riesgos asociados a la actividad sísmica, especialmente en países con alta vulnerabilidad a estos fenómenos.

En el ámbito local, la experiencia acumulada en eventos sísmicos y la necesidad de optimizar los recursos de construcción han llevado a replantear los sistemas constructivos tradicionales. La construcción de viviendas aporticadas, que tradicionalmente utilizan losa aligerada de ladrillos de arcilla, enfrenta desafíos en términos de peso y demanda sísmica. Esto ha motivado la exploración de alternativas más eficientes, como el uso de losa aligerada de casetones de Tecnopor, que potencialmente podrían reducir la carga sobre la estructura y mejorar su comportamiento durante un sismo.

La presente investigación se enfoca en comparar el desempeño estructural y sísmico de una vivienda aporticada de cinco pisos, utilizando dos tipos de losa aligerada: la convencional de ladrillos de arcilla y la innovadora de casetones de Tecnopor. Este estudio tiene como objetivo identificar y cuantificar, a través de análisis en ETABS y pruebas estadísticas, si la sustitución de la losa tradicional por una de Tecnopor mejora significativamente la respuesta sísmica de la edificación, ofreciendo una solución constructiva más eficiente y segura para contextos locales con actividad sísmica.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial, las zonas sísmicas han impulsado a los ingenieros estructurales a buscar soluciones eficientes que garanticen la seguridad de las edificaciones. Países como Japón, Chile y México, con una larga historia de terremotos devastadores, han adoptado normativas rigurosas que regulan el diseño y construcción de viviendas. Uno de los principales enfoques en la ingeniería sísmica es la optimización de los sistemas estructurales, donde la elección del tipo de losa aligerada juega un rol esencial (Loges, 2020).

Las losas de ladrillo de arcilla han sido utilizadas tradicionalmente, pero materiales más innovadores, como el poliestireno expandido, han ganado popularidad debido a su menor peso, lo que reduce las fuerzas sísmicas en la estructura. Sin embargo, sigue siendo crucial evaluar comparativamente cómo estos diferentes materiales afectan el comportamiento sísmico de las edificaciones, especialmente en términos de deformaciones, desplazamientos y la demanda de refuerzo en elementos estructurales críticos como vigas y columnas (Febres Vargas, 2021).

En el Perú, ubicado en una de las regiones más sísmicas del planeta, el diseño estructural es de vital importancia para la seguridad de la población. La Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente establece lineamientos claros para garantizar que las edificaciones sean capaces de resistir los sismos que afectan recurrentemente al país. En este contexto, las losas aligeradas de ladrillo de arcilla han sido ampliamente utilizadas debido a su disponibilidad y familiaridad entre los constructores locales (Figuerola y Graos, 2022).

Sin embargo, el uso de losas de poliestireno expandido está emergiendo como una alternativa que, al ser más liviana, podría ofrecer ventajas en términos de reducción de cargas muertas y mejorar el comportamiento sísmico general de la estructura. A pesar de esto, en el Perú no se han

realizado suficientes estudios comparativos que analicen en detalle el impacto que ambos tipos de losas tienen sobre el diseño estructural, específicamente en términos de las áreas de acero necesarias en las columnas y vigas críticas.

En la ciudad de Huánuco, que también se encuentra en una zona de alta sismicidad, la construcción de viviendas de cinco pisos bajo el sistema aporticado es común. Este sistema estructural, en el que las vigas y columnas son responsables de soportar las cargas principales, requiere de un diseño adecuado para garantizar la estabilidad de las edificaciones durante un evento sísmico. Sin embargo, a nivel local, la selección de materiales para las losas aligeradas suele basarse en criterios de costo y disponibilidad, con una preferencia marcada por el uso de ladrillos de arcilla. A pesar del creciente interés en el uso de poliestireno por sus propiedades livianas, no se cuenta con suficientes estudios comparativos que examinen su influencia en el comportamiento sísmico de las viviendas en la región.

Esta investigación busca abordar esa brecha, realizando un análisis comparativo del comportamiento sísmico de una vivienda de cinco pisos, considerando losas aligeradas de ladrillo de arcilla y de poliestireno, y evaluando cómo estas afectan las áreas de acero en las columnas y vigas críticas. La modelación con ETABS permitirá obtener resultados precisos para ambos escenarios, proporcionando información valiosa para la optimización del diseño estructural en Huánuco y otras zonas sísmicas similares. De esta manera, el análisis comparativo no solo permitirá identificar qué tipo de losa es más adecuada en términos de comportamiento sísmico, sino también cómo impacta en la cantidad de refuerzo necesario en los elementos estructurales, optimizando el uso de materiales y garantizando la seguridad de las edificaciones en zonas de riesgo sísmico.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

PG: ¿De qué manera impacta la sustitución de la losa aligerada de ladrillos de arcilla por una de casetones de poliestireno en el

comportamiento estructural y sísmico de una vivienda aporticada de cinco pisos, según el análisis realizado en ETABS?

1.2.2. PROBLEMA ESPECÍFICO

PE1: ¿Cómo varía el comportamiento estructural de una vivienda aporticada de cinco pisos al cambiar el tipo de losa aligerada de ladrillo de arcilla por casetones de poliestireno al aplicar cargas de sismo?

PE2: ¿En qué medida influye el tipo de losa aligerada (ladrillos de arcilla vs casetones de poliestireno) en las áreas de acero requerida para las columnas críticas de una vivienda aporticada de cinco pisos al aplicar cargas de sismo?

PE3: ¿En qué medida el peso de la losa aligerada (ladrillos de arcilla vs casetones de poliestireno) influye en la fuerza cortante basal de una vivienda aporticada de cinco pisos al aplicar cargas de sismo?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

OG: Evaluar de qué manera impacta la sustitución de la losa aligerada de ladrillos de arcilla por una de casetones de poliestireno en el comportamiento estructural y sísmico de una vivienda aporticada de cinco pisos, según el análisis realizado en ETABS.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OE1: Determinar cómo varía el comportamiento estructural de una vivienda aporticada de cinco pisos al cambiar el tipo de losa aligerada de ladrillos de arcilla por casetones de poliestireno al aplicar cargas de sismo.

OE2: Determinar y comparar en qué medida influye el tipo de losa aligerada (ladrillos de arcilla vs casetones de poliestireno) en las áreas de acero requerida para las columnas críticas de una vivienda aporticada de cinco pisos al aplicar cargas de sismo.

OE3: Determinar en qué medida el peso de la losa aligerada (ladrillos de arcilla vs casetones de poliestireno) influye en la fuerza cortante basal de una vivienda aporticada de cinco pisos al aplicar cargas de sismo.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación es crucial para profundizar en el entendimiento del comportamiento sísmico de las estructuras aporticadas de cinco niveles, típicas en zonas urbanas de expansión rápida como muchas ciudades del Perú. En un país altamente sísmico, como el nuestro, el adecuado diseño estructural representa no solo una exigencia técnica, sino también una necesidad social urgente. Al comparar el desempeño estructural de losas aligeradas con ladrillo de arcilla y las de poliestireno, se busca identificar la opción más segura, eficiente y viable económicamente, considerando tanto la resistencia sísmica como el peso estructural. El aporte social de este estudio radica en la posibilidad de reducir el riesgo de colapso en viviendas multifamiliares, protegiendo vidas humanas y patrimonio frente a eventos sísmicos frecuentes, lo cual es especialmente relevante en sectores urbanos densamente poblados. Además, promover el uso de materiales que optimicen recursos y reduzcan el peso estructural puede significar una alternativa accesible para familias que autoconstruyen sus viviendas. Desde el punto de vista de la ingeniería civil, esta investigación contribuirá con información técnica relevante para el diseño estructural de edificaciones medianas, orientando a proyectistas y calculistas en la selección de losas más convenientes según el contexto. Asimismo, generará evidencia comparativa que puede ser empleada en futuras revisiones normativas o proyectos de investigación relacionados con eficiencia estructural, reducción de cargas muertas y mejora del desempeño sísmico.

1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

A nivel práctico, esta investigación servirá como guía para los ingenieros y constructores locales que buscan soluciones más eficientes en la construcción de viviendas. Al analizar el impacto de los diferentes

tipos de losas aligeradas en el comportamiento sísmico, las áreas de acero en columnas y vigas, se proporcionará información valiosa que ayudará a tomar decisiones más informadas sobre qué material usar según las condiciones específicas de cada proyecto. Con los resultados de esta investigación, será posible reducir los costos de construcción sin comprometer la seguridad estructural, lo que es especialmente relevante en zonas de bajos recursos, donde cada centavo cuenta.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

En el ámbito teórico, este estudio ampliará el conocimiento sobre el diseño estructural de viviendas en zonas sísmicas, contribuyendo a la literatura existente con nuevos datos y análisis comparativos. Hasta el momento, no existen suficientes estudios que comparen el comportamiento sísmico de losas aligeradas de ladrillo de arcilla y poliestireno en un contexto local. Al utilizar el programa ETABS para modelar el comportamiento de estas estructuras, estaremos aportando un análisis riguroso y cuantitativo que permitirá validar o cuestionar las teorías actuales sobre el diseño estructural en áreas sísmicas.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Metodológicamente, la investigación estará basada en un enfoque cuantitativo y explicativo, lo que garantiza un análisis detallado y preciso de las variables. La elección de ETABS como herramienta de modelación nos permitirá simular diversos escenarios sísmicos y obtener resultados claros sobre el comportamiento de las losas y las áreas de acero en los elementos estructurales críticos. Este enfoque metodológico también permitirá replicar el estudio en otras regiones con características sísmicas similares, aumentando así la validez y aplicabilidad de los resultados obtenidos.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación estará limitada por la dependencia del software ETABS, que, aunque confiable, no captura totalmente las condiciones reales como la

calidad de la mano de obra o las imperfecciones de los materiales. El uso de una muestra no probabilística restringirá las conclusiones al contexto específico estudiado, lo que dificultará su generalización. Además, la falta de información sobre el comportamiento a largo plazo del poliestireno y su respuesta ante eventos sísmicos severos podría afectar la interpretación de los resultados. Finalmente, el análisis se centrará sólo en condiciones sísmicas, sin considerar otros factores como cargas no sísmicas o el envejecimiento de los materiales.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. VIABILIDAD TEÓRICA

La viabilidad teórica de esta investigación estará respaldada por el amplio cuerpo de conocimiento existente en el ámbito del diseño estructural y el comportamiento sísmico de edificaciones aporticadas. La literatura actual sobre el uso de losas aligeradas, tanto de ladrillo de arcilla como de poliestireno, ofrecerá una base sólida para el análisis comparativo de sus comportamientos bajo condiciones sísmicas. El uso del software ETABS como herramienta de modelación estructural, reconocido por su capacidad de simular con precisión los efectos sísmicos en estructuras complejas, será clave para llevar a cabo un análisis detallado y riguroso. Esto permitirá generar resultados confiables que contribuirán al conocimiento científico y técnico sobre el diseño de estructuras en zonas sísmicas.

1.6.2. VIABILIDAD ECONÓMICA

Desde un punto de vista económico, la investigación será viable, ya que no implicará altos costos adicionales más allá de los recursos ya disponibles. El acceso al software ETABS estará asegurado, dado que se trata de una herramienta estándar en el campo de la ingeniería estructural. Asimismo, los datos y materiales necesarios para la modelación, como las propiedades mecánicas de los ladrillos de arcilla y poliestireno, estarán fácilmente disponibles a través de estudios previos o en fuentes accesibles. La realización del estudio comparativo

no requerirá de experimentos físicos costosos, sino que se basará en simulaciones computacionales, lo que minimizará los costos operativos y garantizará una inversión razonable para una investigación académica.

1.6.3. VIABILIDAD TEMPORAL

La viabilidad temporal del proyecto será factible dentro del marco establecido para la tesis de grado de ingeniería. Se estima que el tiempo necesario para llevar a cabo la investigación, desde la recolección de datos inicial hasta la modelación y análisis de los resultados, se ajustará a los plazos académicos que es de 6 meses aproximadamente. El uso de simulaciones en ETABS permitirá una mayor eficiencia en la obtención de resultados, ya que el análisis computacional es más rápido en comparación con experimentos físicos. Además, el diseño de la investigación, al ser explicativo y cuantitativo, permitirá un enfoque directo y eficiente, con plazos claros para cada etapa del estudio. Esto asegurará que la investigación pueda completarse dentro del tiempo asignado, cumpliendo con los requisitos académicos y de calidad esperados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Acosta (2022), la investigación titulado Análisis de la influencia del modelado de losas por elementos tipo Shell y membrana en el diseño estructural de un edificio de 4 pisos, utilizando un software de diseño especializado, fue realizado en la Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, con el objetivo de evaluar la influencia del modelado estructural utilizando los elementos de losa Shell y Membrana en una edificación de hormigón armado de 4 pisos ubicada en el cantón de Salcedo. Mediante el uso de un software especializado, se analizaron las diferencias en el comportamiento estructural de la edificación, considerando aspectos como el periodo de vibración, cortantes, derivas de piso, deflexión, asentamiento y áreas de acero de refuerzo. La investigación, de enfoque cuantitativo, es de tipo aplicada, ya que busca mejorar el diseño estructural mediante un análisis comparativo entre los dos tipos de elementos de losa. A nivel comparativo, el diseño es cuasi-experimental, basado en la evaluación de las propiedades estructurales de los elementos de losa modelados como Shell y Membrana. Se aplicaron las normas de diseño pertinentes, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC - 2015) y el Código ACI 314 – 19, y se utilizó el software Etabs 2018 para la simulación estructural. La población y muestra consistieron en una edificación de hormigón armado de 4 pisos, donde se modelaron y compararon ambos tipos de elementos de losa. Como conclusión, se determinó que tanto los elementos de losa Shell como Membrana pueden ser empleados en el modelado estructural de edificaciones de este tipo, aunque presentan diferencias significativas en los resultados. Los datos obtenidos sobre el periodo de vibración, cortantes, derivas de piso, deflexión, asentamiento y áreas de acero de refuerzo fueron organizados en tablas comparativas, demostrando que

cada tipo de modelado tiene ventajas y limitaciones específicas. Los resultados permiten mejorar la toma de decisiones en el diseño estructural, promoviendo un desempeño adecuado en función del tipo de losa seleccionado.

Salcedo (2022), la investigación titulada Análisis comparativo estructural de un edificio aporticado de 6 pisos en la ciudad de Quito, usando el método de diseño basado en fuerzas variando los materiales, se realizó en la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. El objetivo principal fue evaluar el comportamiento estructural y el costo del uso de hormigón liviano con una resistencia a la compresión de $f'_c=35$ MPa en un edificio de 6 pisos destinado a departamentos, utilizando una estructura aporticada especial sismo resistente y comparándolo con los métodos de diseño tradicionales. La metodología empleada tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con un nivel descriptivo-comparativo, y un diseño no experimental basado en simulaciones estructurales. Las técnicas e instrumentos utilizados incluyeron el modelamiento tridimensional y análisis estructural mediante el software ETABS 19, con análisis estático lineal y modal espectral, siguiendo la normativa ACI 318-19 para hormigones livianos. Se realizó el prediseño de elementos estructurales como losas, vigas y columnas, y se estimaron las cantidades de obra y costos de materiales (hormigón y acero) para obtener un presupuesto referencial. La población y muestra se centró en un edificio de 6 pisos sin subsuelos, ubicado en Quito, con características estructurales predefinidas. Como conclusión, el estudio determinó que el uso de hormigón liviano con $f'_c=35$ MPa es viable para edificaciones de 6 pisos en Quito, cumpliendo con las normativas estructurales y mostrando un comportamiento adecuado ante cargas sísmicas y estáticas. El análisis estructural con ETABS 19 demostró que la estructura con hormigón liviano tuvo un comportamiento sismo resistente satisfactorio, de acuerdo con los factores de modificación establecidos, y su uso permitió optimizar el peso total de la estructura, impactando positivamente en la reducción de materiales de refuerzo y

otros rubros del presupuesto, lo que confirma su viabilidad técnica y económica en proyectos de este tipo.

Totoy y Celeste (2022), en su investigación titulada: "Análisis comparativo estructural de un edificio aporticado de 6 pisos en la ciudad de Quito, usando el método de diseño basado en fuerzas variando los materiales: análisis estructural, diseño estructural de edificio aporticado de 6 pisos con acero estructural" Tesis. La Universidad "Escuela Politécnica Nacional" País Ecuador tuvo como objetivo comparar el comportamiento estructural de un edificio de seis pisos diseñado con diferentes materiales, empleando el método de diseño basado en fuerzas. Se enfocaron en evaluar las diferencias en resistencia y estabilidad cuando se utilizan materiales convencionales en comparación con el acero estructural con el fin de determinar cuál es más adecuado para construcciones en zonas de alta actividad sísmica como Quito. Se centraron en el análisis estructural del edificio aporticado, aplicando diferentes combinaciones de materiales en las simulaciones. Para ello, se utilizó un enfoque basado en el diseño por fuerzas, que permite calcular las cargas a las que se verá sometida la estructura durante su vida útil. Los modelos estructurales fueron probados con parámetros sísmicos específicos de la ciudad de Quito, lo que permitió observar cómo el acero estructural y otros materiales convencionales responden ante estas exigencias. A través de estas simulaciones, se midió el desempeño de cada combinación de materiales en términos de flexibilidad, resistencia y capacidad para disipar energía sísmica. Los autores concluyeron que el uso de acero estructural ofrece una ventaja significativa en términos de resistencia y durabilidad en comparación con otros materiales convencionales especialmente en zonas sísmicas. El acero no solo incrementa la capacidad del edificio para resistir las fuerzas sísmicas, sino que también permite un diseño más flexible y seguro.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Boza y Rodriguez (2023) en su investigación titulada: "Diseño estructural para una edificación con problemas de piso blando por alta densidad de muros mediante sistema aporticado en el eje y-y y sistema de albañilería confinada en el eje x-x " Tesis. La "Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas" tuvo como objetivo analizar la abordar y resolver el problema de piso blando en edificaciones con alta densidad de muros. Este fenómeno genera una vulnerabilidad estructural ante cargas laterales es común en edificaciones mal diseñadas. Una solución combinada que utiliza un sistema aporticado en el eje y-y y un sistema de albañilería confinada en el eje x-x, buscando mejorar el comportamiento sísmico y garantizar la estabilidad estructural de la edificación. Aplican un análisis detallado del comportamiento estructural ante cargas sísmicas utilizando herramientas de simulación y modelado estructural. La estrategia consiste en usar un sistema aporticado en el eje y-y lo que permite una mayor flexibilidad y disipación de energía ante eventos sísmicos. Mientras tanto en el eje x-x optan por un sistema de albañilería confinada, que aporta rigidez y resistencia. Este enfoque combinado busca resolver el problema de piso blando distribuyendo mejor las cargas y asegurando un comportamiento homogéneo en ambos ejes de la edificación minimizando deformaciones diferenciales. Los autores concluyeron que la implementación del sistema aporticado en un eje y la albañilería confinada en el otro proporciona una solución efectiva para mitigar los problemas asociados con el piso blando. Destacaron que esta combinación de sistemas no solo mejora el desempeño estructural en eventos sísmicos, sino que también optimiza el uso de materiales y reduce los costos de construcción sin comprometer la seguridad.

Duran (2022) el presente estudio, titulado Análisis comparativo del comportamiento estructural de una vivienda multifamiliar, utilizando ladrillo King Kong industrial y ladrillo artesanal macizo, Ayacucho 2022, fue realizado en la Universidad César Vallejo con el objetivo de comparar

el comportamiento estructural de una vivienda multifamiliar utilizando dos tipos de ladrillos: King Kong Industrial y ladrillo artesanal macizo, mediante simulaciones en el software Etabs v19, para identificar las diferencias en sus respuestas estructurales ante un evento sísmico. La investigación, de enfoque cuantitativo y de tipo aplicada, busca promover la construcción de edificaciones más resistentes. A nivel comparativo, el diseño es cuasi-experimental, ya que se analizaron las propiedades físicas y mecánicas de los ladrillos en laboratorio y posteriormente se realizó la simulación estructural de la vivienda con ambos tipos de albañilería en Etabs v19. Se utilizaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de albañilería, mientras que la simulación estructural permitió evaluar el comportamiento de la edificación. Como población y muestra se seleccionaron ladrillos King Kong industriales y ladrillos artesanales macizos representativos de la región. Los resultados indicaron que el ladrillo artesanal macizo no cumple con los requisitos para clasificarse como tipo I según la norma técnica NTE. E070 de albañilería, y que la vivienda multifamiliar de cuatro niveles simulada con ladrillo King Kong industrial presentó un mejor comportamiento estructural frente a sismos que aquella construida con ladrillo artesanal macizo. Las diferencias encontradas en la resistencia a la compresión axial y las derivas estructurales resaltaron la superioridad del ladrillo industrial para este tipo de edificaciones, lo que contribuye a mejorar la resistencia sísmica de las construcciones.

Vasquez (2022) en su investigación titulada: "Análisis Comparativo del Costo Estructural de un Edificio Empleando Losas Aligeradas con Poliestireno Expandido versus Ladrillo de Arcilla" Tesis. La "Universidad Privada del Norte" tuvo como objetivo comparar el desempeño estructural y económico de dos sistemas de losa aligerada: el sistema tradicional y el prefabricado Vigacero, en una vivienda unifamiliar de cuatro pisos. Buscaron determinar cuál de estos sistemas resulta más eficiente y adecuado, tanto en términos de costos como de comportamiento estructural en el contexto de la construcción en la

ciudad de Trujillo. Analizo cada sistema en detalle considerando factores como el peso estructural, la facilidad de instalación, los tiempos de construcción y costos asociados a materiales y mano de obra. El sistema de losa aligerada tradicional es ampliamente utilizado en el país por su accesibilidad, aunque tiende a ser más pesado y a requerir más tiempo de ejecución. El sistema prefabricado Vigacero de reciente adopción presenta ventajas como la rapidez en su montaje y la reducción de cargas muertas sobre la estructura, aunque su costo inicial puede ser mayor. Simulaciones estructurales y análisis económicos para comparar los dos sistemas en términos de eficiencia y desempeño global. El autor concluyo que el sistema prefabricado Vigacero ofrece una serie de ventajas significativas frente al sistema tradicional, especialmente en términos de reducción de peso estructural y tiempos de construcción. Aunque el costo inicial del sistema Vigacero es ligeramente superior, la rapidez de instalación y la disminución de cargas permiten una optimización del diseño estructural y una mayor durabilidad de la edificación.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Bravo (2023) en su investigación titulada: "Verificación estructural de edificios multifamiliares usando la Norma E.030-2018 diseño sismorresistente para minimizar los riesgos sísmicos - Huánuco - 2023" Tesis. La "Universidad de Huánuco" tuvo como objetivo evaluar el cumplimiento de los criterios de diseño sismorresistente en edificaciones multifamiliares ubicadas en Huánuco. Busco verificar si estos edificios cumplen con los requisitos establecidos por la Norma E.030-2018 con el fin de reducir los riesgos asociados a eventos sísmicos en una región caracterizada por su alta actividad sísmica. Llevó a cabo un análisis estructural detallado de varios edificios multifamiliares, utilizando herramientas de simulación y cálculo para medir el comportamiento de las estructuras ante cargas sísmicas. El estudio se enfoca en identificar posibles deficiencias en el diseño como irregularidades en la rigidez o resistencia de los edificios. Además, se revisan aspectos clave como la

configuración de los elementos estructurales y la calidad de los materiales utilizados. Este enfoque permite determinar si las edificaciones cumplen con los estándares mínimos de seguridad establecidos por la normativa vigente. La autora concluyo, aunque la mayoría de las edificaciones multifamiliares analizadas cumplen en gran medida con los criterios de la Norma E.030-2018, algunas presentan deficiencias que podrían aumentar su vulnerabilidad en caso de un sismo.

Gómez (2024) en su investigación titulada: “Comportamiento estructural de entrepiso entre losas aligeradas bidireccionales y las losas macizas mediante el análisis estructural en una edificación de 5 niveles, Amarilis - Huánuco - 2023” Tesis. La “Universidad de Huánuco” tuvo como objetivo analizar y comparar el comportamiento estructural de entrepiso entre dos tipos de losas utilizadas en edificaciones: las losas aligeradas bidireccionales y las losas macizas. El estudio se centra en una edificación de 5 niveles ubicada en Amarilis, Huánuco durante el año 2023 y busca determinar cuál de estas opciones proporciona un mejor desempeño estructural, contribuyendo a la seguridad y eficiencia de la construcción. Llevó a cabo un análisis estructural detallado empleando software especializado y técnicas de modelamiento que simulan las condiciones reales de carga en la edificación. Se evaluaron factores como la capacidad de carga, la deformación y las tensiones generadas en ambos tipos de losas. El análisis permitió observar cómo las losas aligeradas bidireccionales, a pesar de su menor peso, distribuyen de manera efectiva las cargas, mientras que las losas macizas, aunque más robustas presentan un mayor costo en material y mano de obra. La autora concluyó que, aunque ambas soluciones estructurales son viables, las losas aligeradas bidireccionales representan una opción más eficiente en términos de peso y costo sin comprometer la seguridad estructural del edificio.

Rojas (2022) en su investigación titulada: “Optimización estructural empleando el modelo interacción suelo – estructura y el modelo

normativo peruano en el instituto pedagógico público juana moreno, distrito de Lata – Huamalíes – Huánuco - 2021" Tesis. La "Universidad de Huánuco" tuvo como objetivo buscar garantizar que la edificación no solo cumpla con los estándares de seguridad y eficiencia estructural, sino también que se adapte de manera óptima a las características del suelo de la zona, minimizando riesgos. Análisis exhaustivo de las condiciones geotécnicas del terreno y su influencia en la estructura del edificio. Mediante el uso de modelos computacionales y herramientas de simulación se evaluó cómo el suelo interactúa con los elementos estructurales de la edificación lo que permitió ajustar el diseño a las condiciones específicas del lugar. A su vez se consideraron los lineamientos del modelo normativo peruano, asegurando que el proyecto cumpla con los requisitos locales en cuanto a seguridad sísmica y resistencia de materiales. El autor concluyó que la aplicación del modelo de interacción suelo-estructura, en conjunto con las normas nacionales, optimiza significativamente el comportamiento estructural del edificio.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN APORTICADO

El sistema de construcción aporticado es uno de los sistemas estructurales más utilizados en la edificación de estructuras debido a su capacidad para resistir tanto cargas gravitacionales como cargas laterales, tales como las originadas por vientos o sismos. Este sistema está conformado por una serie de elementos lineales horizontales, como vigas, y verticales, como columnas, que se unen para formar una estructura tridimensional capaz de distribuir las cargas a través de los nodos o intersecciones. La principal ventaja de este sistema es su versatilidad y adaptabilidad a diferentes configuraciones estructurales, lo que le permite ser implementado en una amplia gama de edificaciones, desde viviendas hasta edificios de gran altura (Belizario, 2022).

Figura 1

Sistema aporticado, las cargas son soportadas por las vigas y columnas



Nota. Edificación aporticada. Fuente. (Aguirre y Zúñiga, 2019).

En un sistema aporticado, las cargas se transfieren principalmente mediante el mecanismo de flexión de los elementos. Las vigas soportan las cargas verticales y las transmiten a las columnas, que a su vez las trasladan a los cimientos. Este proceso de transferencia de cargas le permite al sistema aportar una gran resistencia a deformaciones, especialmente cuando se presentan fuerzas horizontales, como las provocadas por un sismo. De esta manera, el sistema aporticado se convierte en una opción eficiente para la construcción en zonas de alta actividad sísmica (Bartolo y Ledesma, 2021).

El comportamiento del sistema aporticado ante sismos depende en gran medida de la rigidez de los nudos, es decir, de la capacidad de las conexiones entre vigas y columnas para resistir rotaciones y desplazamientos. Las uniones rígidas son esenciales para garantizar que el sistema distribuya las cargas sísmicas de manera efectiva. Además, la flexibilidad inherente de los sistemas aporticados permite que las estructuras absorban y disipen la energía sísmica, lo que reduce el riesgo de colapso. Este comportamiento ha sido ampliamente estudiado y normado en países como Perú, donde la Norma Técnica

E.030 de Diseño Sismorresistente establece los lineamientos para el diseño y construcción de estructuras aporticadas (Bartolo y Ledesma, 2021).

Por otro lado, el diseño de estructuras aporticadas también debe considerar aspectos de seguridad y economía. En comparación con otros sistemas estructurales, como la albañilería confinada, el sistema aporticado tiende a requerir una mayor cantidad de acero, lo que puede incrementar los costos. No obstante, su capacidad para optimizar el uso del espacio y su comportamiento favorable ante cargas dinámicas compensan estos aspectos económicos, convirtiéndolo en una alternativa viable para edificaciones de mayor complejidad arquitectónica (Pérez y Tequen, 2021).

El diseño y la construcción de un sistema aporticado requieren un enfoque integral que contemple la interacción de todos los elementos estructurales y no estructurales. La correcta disposición de las vigas y columnas, así como el uso adecuado de materiales de construcción, influye directamente en el desempeño global del edificio. Asimismo, los avances en la tecnología de la construcción y en los métodos de simulación estructural, como el uso de programas de análisis y modelado, han permitido mejorar significativamente la precisión en el diseño y la predicción del comportamiento de estas estructuras ante eventos sísmicos o cargas extremas (Pérez y Tequen, 2021).

2.2.2. LOSA ALIGERADA DE LADRILLO DE ARCILLA

La losa aligerada de ladrillo de arcilla es una solución popular en la construcción debido a su capacidad para reducir el peso de la estructura sin comprometer su resistencia lo que permite una disminución significativa del concreto necesario en la losa con lo cual se reduce la carga muerta. Este tipo de losa es especialmente útil en edificaciones de varios pisos donde cada reducción de peso en los niveles superiores tiene un impacto en la cimentación y el diseño estructural global (Cuayla Falcon, 2022).

Propiedades Físicas del Ladrillo de Arcilla (15x15x30 cm)

El ladrillo de arcilla con dimensiones de 15x15x30 cm tiene una densidad aproximada de 1,800 kg/m³ y su peso se estima en alrededor de 7.6 kg y lo tiene el ladrillo la absorción de agua este tipo de ladrillo presenta una capacidad de absorción que oscila entre el 10% y el 20% de su peso en seco. La porosidad que influye directamente en la absorción de agua puede variar entre un 10% y un 30% debido a su volumen el ladrillo mantiene una conductividad térmica en un rango de 0.5 a 1.2 W/m·K lo que lo convierte en un buen aislante térmico (Deulofeuth y Severiche, 2019).

Propiedades Mecánicas del Ladrillo de Arcilla (30x30x15 cm)

Los ladrillos de arcilla con dimensiones de 30x130x15 cm presentan una resistencia a la compresión que varía entre 3 MPa y 10 MPa en el caso de los ladrillos huecos el módulo de elasticidad de estos ladrillos se encuentra en un rango de 1,500 MPa a 4,000 MPa dependiendo de la calidad y densidad del material. En cuanto a la resistencia a la flexión esta se sitúa entre 1 MPa y 5 MPa influida por factores como la calidad de la arcilla y el proceso de cocción (Gonzales Armas, 2017).

2.2.3. LOSA ALIGERADA DE LADRILLO DE POLIESTIRENO

El poliestireno expandido es un material ligero que ha ganado popularidad en la construcción de losas aligeradas. Su uso permite una considerable reducción del peso de la losa, lo que tiene un impacto directo en la reducción de las cargas muertas sobre la estructura. A diferencia del ladrillo de arcilla, el poliestireno no agrega peso significativo a la edificación, por lo que se optimiza la capacidad de las columnas y cimientos, permitiendo ahorros en materiales y refuerzos (Almonacid Ordoñez, 2020).

Propiedades Físicas del Ladrillo Casetón Etsapol (1.20 x 0.30 x 0.15 m)

El ladrillo casetón Etsapol fabricado a partir de poliestireno expandido (EPS) presenta una densidad notablemente baja en comparación con materiales tradicionales oscilando entre 15 y 30 kg/m³ dependiendo de la densidad específica del EPS utilizado. El peso de cada ladrillo se sitúa alrededor de 0.15 kg. La absorción de agua el poliestireno expandido muestra características favorables con una capacidad de absorción muy baja generalmente inferior al 2% lo que le confiere resistencia a la humedad. El EPS destaca por sus excelentes propiedades de aislamiento térmico presentando una conductividad térmica típica de 0.032 a 0.038 W/m·K lo que lo convierte en un material eficiente para minimizar la transferencia de calor. Los ladrillos casetones de EPS también proporcionan un buen aislamiento acústico siendo especialmente efectivos en aplicaciones de losas aligeradas donde contribuyen a la reducción del ruido de impacto (Hilas Fustamante, 2023).

Propiedades Mecánicas del Ladrillo Casetón Etsapol

La resistencia a la compresión del poliestireno expandido (EPS) utilizado en los ladrillos casetones es relativamente baja oscilando entre 100 y 200 kPa (0.1 a 0.2 MPa) aunque no están diseñados para soportar cargas estructurales directas su función principal es aligerar la losa y ayudar en la distribución de cargas. En cuanto a la resistencia a la flexión el EPS también presenta valores bajos ya que no está concebido para resistir esfuerzos mecánicos sino para reducir el peso de las estructuras en las que se incorpora. Durabilidad tiene el ladrillo casetón de EPS muestra un buen desempeño bajo condiciones normales, siempre que no esté expuesto a altas temperaturas (por encima de 80 °C) o a disolventes químicos, lo que le otorga una vida útil extensa. Es importante señalar que el EPS no es un material ignífugo, aunque puede ser tratado con retardantes de llama su resistencia al fuego es limitada,

lo que lo hace inadecuado para estructuras expuestas a altas temperaturas (salinas y vega, 2019).

2.2.4. DISEÑO ESTRUCTURAL EN EDIFICACIONES

El diseño estructural en edificaciones es un proceso fundamental dentro de la ingeniería civil, cuyo objetivo principal es garantizar la estabilidad, seguridad y funcionalidad de las construcciones. Este proceso implica la conceptualización, análisis y dimensionamiento de los elementos estructurales que conforman un edificio, como columnas, vigas, losas y cimientos, los cuales deben ser capaces de soportar y transmitir las cargas a las que estarán sometidos durante su vida útil, tales como el peso propio de la estructura, las cargas vivas, y los efectos de fenómenos naturales como vientos y sismos (Chopra, 2019).

El diseño estructural se basa en principios fundamentales de la mecánica de materiales y la teoría de estructuras, los cuales permiten predecir el comportamiento de los materiales y las fuerzas que actuarán sobre ellos. Uno de los objetivos más importantes del diseño es optimizar el uso de los recursos y materiales de construcción, como el concreto, acero y madera, asegurando que se utilicen de manera eficiente para cumplir con los requisitos de resistencia, rigidez y estabilidad. El uso de códigos y normativas de diseño, como las Normas Técnicas E.060 para concreto armado y E.030 de diseño sismorresistente en Perú, es esencial para garantizar que las edificaciones cumplan con los estándares de seguridad y sean resistentes a las fuerzas externas (Bandach y Castillo, 2023).

En términos de seguridad, el diseño estructural tiene como prioridad la capacidad de las edificaciones para resistir eventos excepcionales, como los sismos. En regiones altamente sísmicas, como en la zona costera del Perú, el diseño debe considerar el comportamiento dinámico de la estructura y la distribución adecuada de rigidez y resistencia en todas sus partes. La sismorresistencia es uno de los factores más críticos en el diseño de edificaciones, lo que ha

impulsado el desarrollo de métodos avanzados de análisis estructural, como el análisis estático no lineal y el análisis modal espectral. Estos métodos permiten simular el comportamiento del edificio ante un sismo y prever posibles fallas en su estructura (Ugas Cervera, 2023).

Otro aspecto clave del diseño estructural es la consideración de las cargas de servicio, las cuales incluyen el peso de los ocupantes, muebles y equipos. Estas cargas varían dependiendo del uso del edificio, ya sea residencial, comercial o industrial. En este contexto, el diseño estructural debe ser lo suficientemente flexible para adaptarse a los cambios en los usos o configuraciones internas del edificio, sin comprometer su seguridad o estabilidad. Por ejemplo, en edificaciones de oficinas, las cargas vivas tienden a ser mayores en comparación con las viviendas, lo que implica un dimensionamiento diferente de los elementos estructurales (Ugas Cervera, 2023).

El diseño estructural también debe contemplar el factor económico, buscando un balance entre seguridad y costos. Es por ello que el ingeniero estructural debe tomar decisiones que optimicen el uso de materiales, respetando los límites de resistencia y deformación permitidos por los códigos de diseño. La innovación en materiales y técnicas constructivas, como el uso de concreto de alta resistencia, acero de refuerzo optimizado y estructuras prefabricadas, han permitido mejorar la eficiencia en el diseño estructural, reduciendo tanto el costo de los proyectos como los tiempos de ejecución (Abad y Guivar, 2019).

En la actualidad, el diseño estructural ha evolucionado significativamente gracias al uso de herramientas computacionales avanzadas, como los programas de modelado estructural en 3D. Estas herramientas permiten realizar simulaciones detalladas del comportamiento de una estructura bajo diferentes condiciones de carga, facilitando el análisis y la toma de decisiones en la etapa de diseño. Entre las tecnologías más destacadas se encuentra el Building Information Modeling (BIM), que ha revolucionado la forma en que se diseñan y gestionan los proyectos de construcción, permitiendo una mayor

integración entre los equipos de diseño y construcción, lo que se traduce en una mayor precisión y eficiencia en los resultados (Abad y Guivar, 2019).

2.2.5. NORMA E.060

La Norma E.060 de la Edificación del Reglamento Nacional de Construcciones del Perú regula los criterios y procedimientos aplicables para el diseño y análisis de concreto armado en edificaciones. Esta normativa es fundamental en la ingeniería civil, pues establece los lineamientos para garantizar la seguridad, estabilidad y funcionalidad de las estructuras de concreto, las cuales deben responder de manera eficiente ante las cargas permanentes y dinámicas que puedan afectar su desempeño a lo largo de su vida útil (Norma E.060 Concreto Armado, 2020).

En este contexto, las estructuras aporticadas, constituidas por marcos formados por vigas y columnas, se diseñan conforme a los criterios establecidos por esta norma, para resistir tanto las cargas verticales como horizontales generados por sismos u otras solicitaciones.

El concreto armado es un material compuesto que combina la resistencia a compresión del concreto con la resistencia a tracción del acero. En una estructura aporticada, esta combinación permite lograr un desempeño adecuado ante las solicitaciones estructurales, ya que las columnas soportan mayoritariamente esfuerzos de compresión, mientras que las vigas manejan la flexión (Tito Huerta, 2021).

La Norma E.060 especifica las propiedades mínimas que deben cumplir estos materiales, así como las proporciones necesarias para que trabajen de manera conjunta sin generar fisuras ni deformaciones excesivas (Espinoza Sandoval, 2020). Además, la normativa establece los procedimientos para diseñar cada uno de los elementos estructurales, desde las secciones transversales mínimas hasta los refuerzos de acero requeridos en las zonas críticas de la estructura.

Uno de los aspectos más relevantes del diseño estructural en estructuras aporticadas, según la E.060, es la consideración de las cargas sísmicas, debido a que el Perú se encuentra en una zona de alta sismicidad. En este sentido, la norma indica la necesidad de realizar análisis dinámicos para modelar adecuadamente la respuesta estructural ante movimientos sísmicos y reducir los riesgos de colapso. Los marcos aporticados permiten una mayor ductilidad, ya que las conexiones entre vigas y columnas pueden deformarse sin comprometer la estabilidad general del sistema (Aguilar y Barbat, 2018). Esta capacidad es crucial para que las estructuras disipen la energía sísmica de manera eficiente y mantengan su integridad después de un evento telúrico.

Asimismo, la Norma E.060 enfatiza la importancia del diseño basado en el concepto de capacidad, el cual asegura que las zonas críticas de la estructura (como las vigas) se deformen primero, protegiendo a las columnas para evitar el colapso progresivo. Esto se refleja en la jerarquización de los elementos estructurales, que establece que las vigas deben ser más débiles que las columnas, de manera que el mecanismo de falla sea controlado y previsible (Plasencia Rebaza, 2021).

En el caso de las estructuras aporticadas, esta jerarquización es clave para garantizar una adecuada redistribución de esfuerzos durante un sismo, reduciendo los daños estructurales y permitiendo la evacuación segura de los ocupantes.

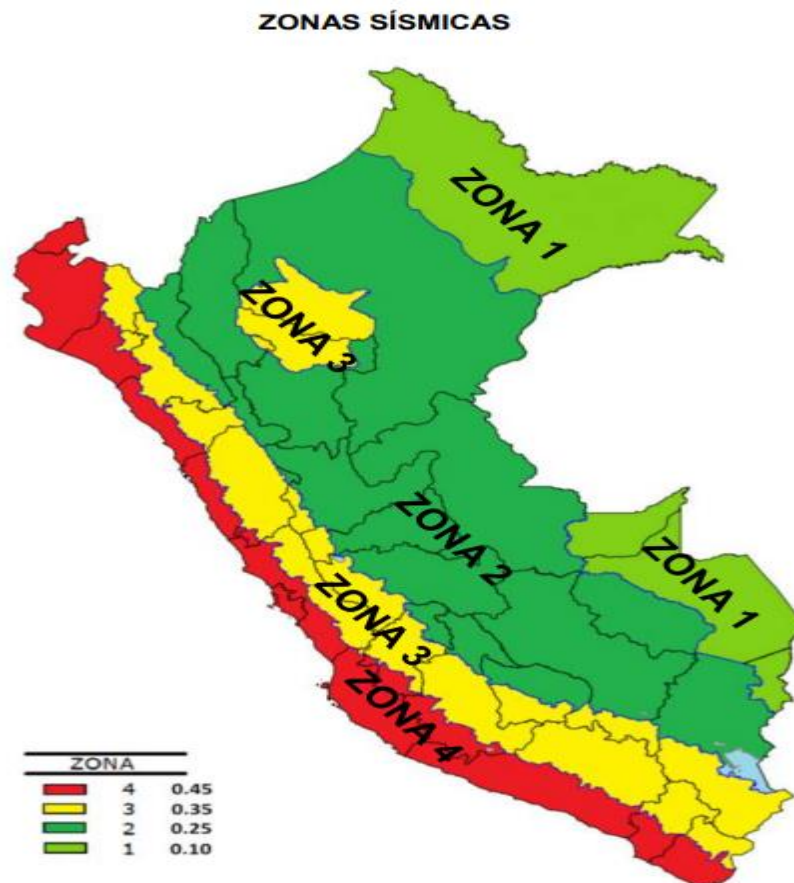
2.2.6. NORMA E.030

La Norma E.030 de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones establece los criterios y procedimientos que garantizan la seguridad de las edificaciones frente a movimientos sísmicos. Dado que el territorio peruano se encuentra en una de las zonas sísmicas más activas del mundo, esta normativa se torna esencial para reducir los riesgos de colapso estructural. En el caso de las

estructuras aporticadas, que están formadas por marcos de vigas y columnas, el cumplimiento de la E.030 permite diseñar sistemas estructurales con la capacidad de disipar la energía sísmica de manera eficiente y preservar la vida de los ocupantes (Poma y Rodriguez, 2020).

Figura 2

Zonas sísmicas en el Perú



Fuente. (Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2020).

El principal objetivo de la Norma E.030 es asegurar que las estructuras puedan soportar las aceleraciones y desplazamientos generados por los sismos sin sufrir daños irreparables. Para lograrlo, se establecen criterios de diseño basados en el desempeño, es decir, se considera tanto la resistencia de los elementos estructurales como su capacidad de deformación. En las estructuras aporticadas, la conexión entre las vigas y columnas es fundamental, ya que estas uniones permiten que la estructura se comporte de forma más flexible y disipen

las fuerzas sísmicas mediante deformaciones controladas (Allaucca Huaripaucar, 2021).

Tabla 1

Factores de zona

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente. (Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2020).

Tabla 2

Clasificación de los perfiles de suelo

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	Vs	N60	Su
S0	>1500 m/s	-	-
S1	500 m/s a 1500 m/s	>50	> 100 kPa
S2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S4	Clasificación basada en el EMS		

Fuente. (Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2020).

La E.030 también introduce la necesidad de realizar un análisis dinámico en el diseño estructural para determinar cómo responderá la estructura ante diferentes niveles de aceleración. Este análisis considera tanto las cargas estáticas como las dinámicas, enfatizando la importancia de diseñar estructuras con una ductilidad adecuada. En este contexto, las estructuras aporticadas se destacan por su capacidad de permitir desplazamientos en sus uniones sin comprometer la estabilidad general, lo que ayuda a evitar colapsos repentinos. Esto es crucial para garantizar que, incluso en sismos severos, las edificaciones puedan ser evacuadas de forma segura (Machado y Quistan, 2021).

Tabla 3*Factor de suelo*

FACTOR DE SUELO “S”				
ZONA-SUELO	S0	S1	S2	S3
Z4	0,80	1,00	1,05	1,10
Z3	0,80	1,00	1,15	1,20
Z2	0,80	1,00	1,20	1,40
Z1	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente. (Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2020).

Tabla 4*Periodos de retorno*

PERÍODOS “TP” Y “TL”				
	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
TP(S)	0,3	0,4	0,6	1,0
TL(S)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente. (Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2020).

Otro de los aspectos relevantes de la norma es la importancia del control de desplazamientos laterales. En una estructura aporticada, las columnas juegan un papel determinante en la rigidez global del sistema. La E.030 establece que los desplazamientos inter-pisos deben mantenerse dentro de ciertos límites para evitar daños estructurales y no estructurales. El control de estos desplazamientos no solo previene la falla de los elementos estructurales, sino que también protege los acabados interiores y exteriores de la edificación, garantizando la funcionalidad posterior al evento sísmico (Rodríguez Apolinario, 2022).

Tabla 5*Límites de distorsión del entrepiso*

LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material predominante	($\Delta i / h_{ei}$)
Concreto armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Fuente. (Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2020).

La jerarquía de resistencia es otro principio clave contemplado en la norma. Para evitar fallas progresivas, las vigas deben ser diseñadas de manera que actúen como los primeros elementos en fallar antes que las columnas, favoreciendo un mecanismo de colapso más controlado. En una estructura aporticada, este enfoque garantiza que las zonas de mayor vulnerabilidad se localicen en las vigas, evitando así que las columnas, que soportan las cargas verticales, se vean comprometidas (Legua Prado, 2022).

2.2.7. SOFTWARE ETABS EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL

ETABS es una herramienta avanzada que permite a los ingenieros civiles modelar estructuras complejas con precisión. Este software facilita el análisis de edificios bajo diversas condiciones de carga, como cargas estáticas, dinámicas y sísmicas, proporcionando resultados detallados sobre desplazamientos, tensiones y fuerzas internas. Su capacidad de manejar diferentes tipos de elementos estructurales lo hace ideal para proyectos que involucran sistemas aporticados, como viviendas de varios pisos (DG Design Modeling, 2024).

El proceso de modelado en ETABS para analizar una vivienda aporticada de cinco pisos con losa aligerada de ladrillo de arcilla y poliestireno incluye la definición de normativas, diseño geométrico de la estructura, y asignación de materiales. Luego, se aplican las cargas (gravitacionales y sísmicas) y se define una malla de elementos finitos para un análisis preciso. Se evalúan las diferencias en el comportamiento de las losas en cuanto a rigidez, desplazamientos y esfuerzos. Finalmente, los resultados permiten optimizar el diseño estructural y generar los informes y planos para su construcción (Rupay Vargas et al., 2023).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

Cargas gravitacionales: Las cargas gravitacionales son aquellas fuerzas que actúan sobre una estructura debido a la gravedad, principalmente generadas por el peso propio de los elementos que la componen. Estas

cargas incluyen no solo el peso de los materiales, sino también cargas adicionales, como muebles, equipos y ocupantes, que se distribuyen en la estructura. En el diseño estructural, es fundamental considerar estas cargas para garantizar la estabilidad y seguridad del edificio (Ortega García, 2014).

Cargas laterales: Las cargas laterales son fuerzas que actúan horizontalmente sobre una estructura, como resultado de fenómenos naturales o condiciones externas, incluyendo el viento, el sismo y el impacto. Estas cargas pueden provocar desplazamientos y deformaciones significativas en las edificaciones, por lo que su análisis es crucial para asegurar la resistencia y estabilidad ante condiciones adversas (Oviedo Sarmiento, 2024).

Vigas: Las vigas son elementos estructurales diseñados para soportar y distribuir las cargas aplicadas sobre ellas, generalmente en dirección horizontal. Su función principal es transferir las cargas desde los techos, pisos o paredes hacia las columnas o soportes verticales. La adecuada selección de materiales y el diseño de las vigas son esenciales para mantener la integridad estructural y evitar fallas (Harmsen, 2017).

Columnas: Las columnas son elementos verticales de soporte que transfieren las cargas de las estructuras hacia los cimientos. Su diseño y disposición son críticos para garantizar la estabilidad y resistencia de las edificaciones. Las columnas pueden ser de diferentes materiales, como concreto, acero o madera, y su tamaño y forma dependen de las cargas que deben soportar (McCormac y Brown, 2018).

Cimientos: Los cimientos son la parte de una estructura que se encuentra en contacto directo con el terreno, y su función principal es distribuir las cargas de la edificación al suelo de manera uniforme. El diseño adecuado de los cimientos es fundamental para evitar asentamientos, deformaciones y fallas estructurales. Existen diversos tipos de cimientos, que se eligen según las características del terreno y el tipo de estructura (Caballero Repullo et al., 2010).

Sismo: Un sismo es un fenómeno natural caracterizado por el movimiento repentino de la tierra debido a la liberación de energía acumulada en la corteza terrestre. Este movimiento puede generar fuerzas laterales significativas que afectan la estabilidad de las edificaciones. La evaluación del comportamiento estructural ante sismos es crucial para garantizar la seguridad de las construcciones en zonas sísmicamente activas (Sol 90, 2014).

Norma E.030: La Norma E.030 es un reglamento técnico que establece los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones sismo-resistentes en Perú. Esta norma proporciona lineamientos específicos que deben seguirse para asegurar que las estructuras puedan resistir adecuadamente las fuerzas generadas por sismos, promoviendo así la seguridad de las personas y la protección de bienes (Norma E.030 Diseño Sismorresistente, 2020).

Norma E.060: La Norma E.060 regula el diseño de estructuras de concreto armado, estableciendo criterios para garantizar la seguridad, estabilidad y durabilidad de las edificaciones. Esta norma es esencial para asegurar que los elementos de concreto armado sean dimensionados adecuadamente, considerando las cargas que soportarán y las condiciones ambientales a las que estarán expuestos (Norma E0.60 Concreto Armado, 2020).

Losa aligerada: La losa aligerada es un sistema de losas que incorpora elementos de aligeramiento, como poliestireno expandido o bloques de aire, para reducir el peso total de la estructura. Este tipo de losa es especialmente útil en construcciones de varios pisos, ya que permite disminuir la carga sobre las columnas y cimientos, mejorando la eficiencia estructural y facilitando el diseño (Bozzo y Bozzo, 2021).

El poliestireno: El poliestireno es un material termoplástico utilizado en la construcción por su ligereza, durabilidad y propiedades de aislamiento térmico. Su uso en ladrillos y paneles de construcción contribuye a la reducción del peso de las estructuras, al tiempo que proporciona un excelente

aislamiento, lo que mejora la eficiencia energética de los edificios (Montico Dipaul, 2023).

Estructuras aporticadas: Una estructura aporticada consiste en un sistema de vigas y columnas diseñado para transferir las cargas de manera eficiente. La estructura aporticada es particularmente adecuada para proyectos de viviendas, ya que brinda flexibilidad arquitectónica y resistencia frente a cargas laterales, como vientos o sismos (Julca y Rios, 2023).

Cargas muertas: La carga muerta en una estructura está compuesta por el peso de los materiales utilizados en su construcción, como vigas, columnas y losas (Pizango y Altamirano, 2019).

Cargas vivas: Las cargas vivas en una edificación están relacionadas con el uso y ocupación del edificio, como la presencia de personas, muebles y equipos (Ferrovia, 2020).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

HG: El diseño estructural de una vivienda aporticada de cinco pisos con losa aligerada de casetones de poliestireno mostrará un mejor comportamiento sísmico en comparación con una vivienda con losa aligerada de ladrillo de arcilla.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

HE1: El uso de losa aligerada con casetones de poliestireno reduce significativamente los desplazamientos máximos en comparación con la losa aligerada con ladrillos de arcilla al aplicar cargas sísmicas.

HE2: La implementación de losa aligerada con castores de poliestireno disminuye las áreas de acero requeridas en las columnas críticas en comparación con la losa aligerada con ladrillos de arcilla al aplicar cargas de sismo.

HE3: El menor peso de la losa aligerada con casetones de poliestireno produce una reducción significativa en la fuerza cortante basal de la estructura en comparación con una losa aligerada con ladrillos de arcilla al aplicar cargas de sismo.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Análisis estructural (Desplazamientos máximos, Áreas de acero en columnas críticas y fuerza cortante basal).

2.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Tipo de Losa Aligerada

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
VI: Tipo de Losa Aligerada	Tipo de losa aligerada. Se refiere a la variación de materiales que componen las losas aligeradas en una estructura aporticada. Análisis estructural.	Se analizarán dos tipos de losa aligerada: una con ladrillo de arcilla y otra con poliestireno en una estructura de cinco pisos.	- Material de la losa	- Tipo de material (arcilla, poliestireno). - Peso del material (kg/m ²).	Modelación estructural en ETABS.
VD: Análisis estructural (Desplazamientos máximos, Áreas de Acero en columnas críticas y fuerza cortante basal).	Evaluación del comportamiento estructural ante cargas sísmicas, incluyendo las áreas de acero necesarias en columnas en estructuras aporticadas y la fuerza cortante basal en cada piso de la edificación.	Se modelaron las cargas y el comportamiento sísmico de la estructura en ETABS y se evaluarán las áreas de acero en las columnas y vigas críticas en dos tipos de losas aligeradas.	Comportamiento sísmico Áreas de acero en columnas críticas Fuerza cortante basal	Desplazamientos máximos de la estructura (cm). Cantidad de acero en columnas críticas (cm ²). Fuerza cortante basal (Tn).	Modelación estructural en ETABS.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación aplicada se centra en desarrollar soluciones efectivas para desafíos del mundo real, orientando sus esfuerzos hacia la resolución de problemas específicos. A diferencia de la investigación básica que persigue la expansión del conocimiento sin una aplicación inmediata, la investigación aplicada busca resultados prácticos que puedan implementarse en sectores como la ingeniería, la medicina, la educación o los negocios, con el fin de generar mejoras tangibles en estos ámbitos (Ortega, 2020).

Se llevará a cabo un análisis comparativo del diseño estructural de una vivienda aporticada de cinco pisos, utilizando losas aligeradas de ladrillo de arcilla y poliestireno, empleando el software ETABS para la modelación. La metodología adoptada será de enfoque cuantitativo, con un nivel explicativo y un diseño no experimental, lo que permitirá obtener resultados significativos sobre el comportamiento estructural de las diferentes losas aligeradas. A través de esta investigación, se buscará proporcionar información valiosa sobre la resistencia sísmica de estructuras construidas con estos materiales, que es crucial para garantizar la seguridad en áreas propensas a movimientos telúricos.

3.1.1. ENFOQUE

La investigación cuantitativa se enfoca en recoger y analizar datos en forma de números para entender mejor los patrones, conexiones y comprobar ideas o teorías. Este enfoque usa métodos estadísticos y matemáticos para medir diferentes aspectos y determinar la magnitud de los fenómenos estudiados. Su principal fortaleza es que, al ser un proceso objetivo y organizado, permite aplicar los resultados a un grupo más amplio de personas, utilizando muestras representativas y herramientas de análisis estadístico (Sánchez Flores, 2019).

Mi enfoque será cuantitativo, ya que recolectaré y analizaré datos numéricos relacionados con el comportamiento estructural de los sistemas que voy a modelar. Utilizaré el software Etabs para simular y comparar viviendas aporticadas de 5 pisos con losa aligerada de arcilla y polietileno.

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

La investigación de nivel explicativo es un tipo de estudio cuyo objetivo principal es determinar las causas o razones de los fenómenos o eventos observados, proporcionando una comprensión profunda de por qué ocurren. Este nivel de investigación no solo se limita a describir un fenómeno o a identificar relaciones entre variables, sino que busca identificar y examinar los factores causales que influyen directamente en el fenómeno estudiado (Guevara Alban et al., 2020).

El alcance de mi investigación se centrará en la evaluación detallada del comportamiento sísmico de las viviendas aporticadas en función del tipo de losa aligerada utilizada. Mediante la comparación de las áreas de acero en columnas y vigas críticas, buscaré identificar las diferencias significativas en el rendimiento estructural de ambas configuraciones. Este análisis explicativo permitirá no solo comprender el comportamiento de las estructuras bajo carga sísmica, sino también ofrecer recomendaciones basadas en datos cuantitativos que puedan ser aplicadas en futuros diseños.

3.1.3. DISEÑO

El diseño no experimental es una metodología de investigación en la que las variables no son manipuladas de forma deliberada para observar sus efectos. En este tipo de estudio, el investigador simplemente observa y analiza los fenómenos tal como se presentan de manera natural, sin intervenir ni alterar las condiciones (Cobos Sanchiz et al., 2018).

Adoptaré un diseño no experimental para llevar a cabo esta investigación, lo que implica que no intervendré en las condiciones del entorno ni en las variables de estudio. Este enfoque me permitirá observar y analizar el comportamiento de las estructuras tal como ocurren en la práctica, asegurando así la validez y aplicabilidad de mis hallazgos.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

La población de una investigación es el conjunto total de individuos, elementos u observaciones que comparten características similares y que son objeto de estudio. Esta población puede incluir personas, objetos, eventos o cualquier unidad de análisis pertinente para la investigación. El objetivo es recopilar información sobre esta población para realizar inferencias o generalizaciones sobre sus características o comportamientos (Camacho de Báez, 2021).

En este caso, la población estará compuesta por todas las viviendas a de cinco pisos en zonas sísmicas que utilizan losas aligeradas de ladrillo de arcilla y poliestireno. Este enfoque me permitirá comprender mejor el comportamiento estructural en diferentes contextos y condiciones de construcción.

3.2.2. MUESTRA

La muestra no probabilística es un subconjunto de la población que se elige de forma no aleatoria, lo que implica que no todos los integrantes de la población tienen la misma oportunidad de ser seleccionados. Este tipo de muestreo se utiliza cuando el investigador escoge a los participantes basándose en criterios específicos, conveniencia o características particulares (Camacho de Báez, 2021).

La muestra, seleccionada mediante un muestreo no probabilístico por criterios, estará compuesta por dos modelos estructurales diseñados específicamente para este estudio: uno con losa aligerada de ladrillo de

arcilla y otro con losa aligerada de poliestireno expandido. El tamaño muestral ($n = 2$) se justifica por el enfoque cuasi-experimental de la investigación, que requiere un análisis comparativo directo entre ambos tipos de losa bajo condiciones estructurales controladas. La simulación y evaluación se realizará mediante el programa ETABS, permitiendo analizar con precisión el comportamiento sísmico de cada alternativa y obtener resultados técnicos válidos para orientar el diseño estructural en zonas sísmicas como Huánuco.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. TÉCNICA DE LA OBSERVACIÓN DIRECTA

La observación directa es un método de recopilación de datos donde el investigador observa y documenta de manera organizada los comportamientos, eventos o fenómenos tal como suceden en su entorno habitual, sin intervenir ni modificar el contexto. Su principal ventaja es el acceso inmediato a la información, lo que permite obtener una visión detallada y precisa del fenómeno analizado. Este método puede realizarse de distintas formas, como la observación participante, donde el investigador interactúa, o no participante, sin involucrarse, y puede ser estructurada, siguiendo un plan definido, o no estructurada, más flexible y abierta (Sánchez Martínez, 2022).

En el desarrollo de mi investigación emplearé la técnica de observación directa para recopilar información crucial sobre el comportamiento de las estructuras. Esta técnica me permitirá observar de manera sistemática y objetiva las características constructivas y el rendimiento de las viviendas durante simulaciones de eventos sísmicos. Al registrar el comportamiento de las columnas y vigas críticas, así como cualquier signo de deformación o daño, podré obtener datos valiosos sobre la eficacia de cada tipo de losa aligerada.

3.3.2. INSTRUMENTOS DE RECOJO DE DATOS

Los instrumentos utilizados para recolectar datos en investigación incluyen herramientas como encuestas, cuestionarios, entrevistas, observación directa, análisis de documentos, pruebas y medios audiovisuales como grabaciones o videos. Estos instrumentos permiten recopilar información clave sobre las variables del estudio. La elección de uno u otro depende del objetivo de la investigación, las características de los datos requeridos y el contexto en que se desarrolla el estudio, con el propósito de garantizar la precisión y relevancia en los resultados obtenidos (Sánchez Martínez, 2022).

Para mi investigación emplearé diversos instrumentos de recolección de datos, los cuales me permitirán obtener información precisa y detallada sobre el comportamiento estructural de las losas en diferentes escenarios. Utilizaré principalmente la modelación computacional a través del software ETABS, que será el medio para generar y analizar los modelos estructurales. Este software permitirá medir las áreas de acero en las columnas y vigas críticas, así como evaluar el comportamiento sísmico en función del tipo de losa aligerada.

Además, elaboraré un prototipo de vivienda de cinco pisos, cuyos planos serán diseñados en AutoCad. Este prototipo será la base para la modelación estructural en ETABS, proporcionando una representación realista de la vivienda a analizar. De esta manera, podré simular las condiciones estructurales en ambos escenarios (losa de ladrillo de arcilla y de poliestireno) y recolectar datos sobre las áreas de acero y el comportamiento sísmico.

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Una vez que haya recolectado los datos a través de la modelación estructural, procederé al procesamiento de la información empleando técnicas de análisis comparativo. En esta fase, se procesarán los resultados obtenidos del software ETABS para extraer y comparar las áreas de acero en las

columnas y vigas críticas bajo las dos tipologías de losas aligeradas. Además, analizaré el comportamiento sísmico de la estructura en ambos escenarios, evaluando su capacidad para resistir fuerzas sísmicas.

CAPÍTULO IV

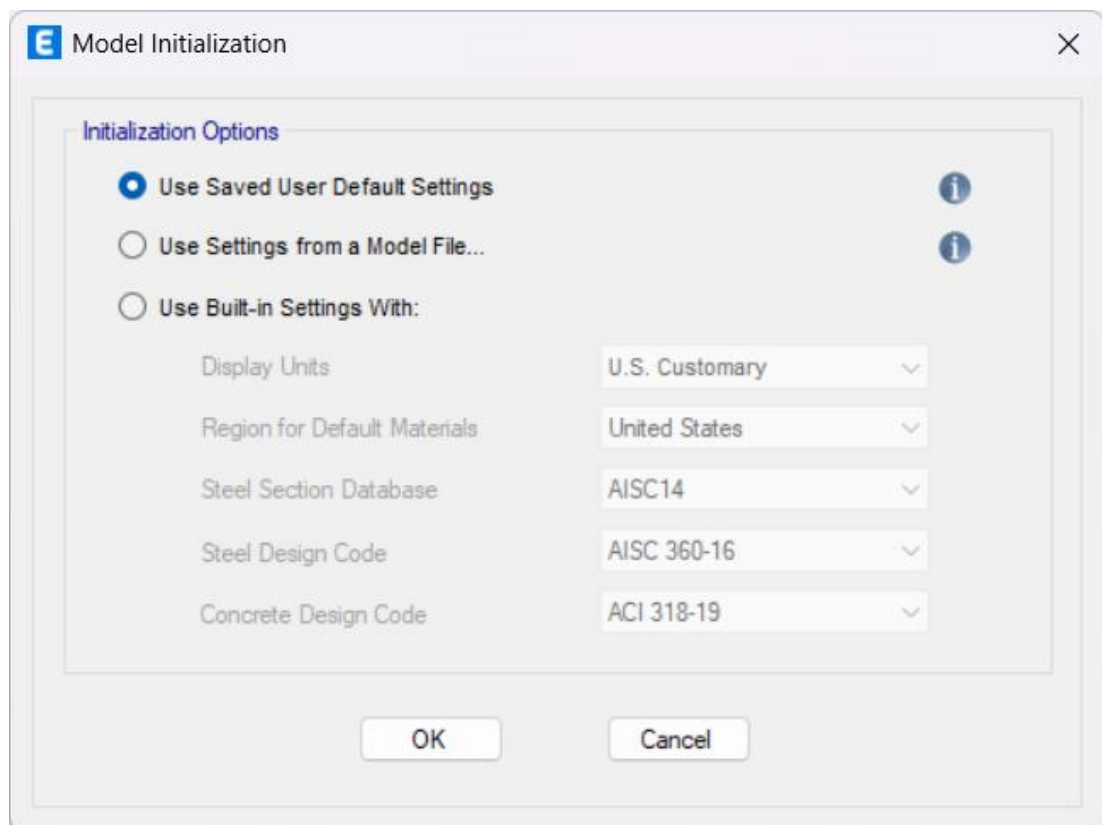
RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Para la creación del modelo 3D en el software ETABS, se modeló una vivienda de 5 pisos con un sistema aporticado. Se consideraron dos modelos 3D con las mismas dimensiones, secciones de los elementos estructurales y materiales de concreto y acero, diferenciándose únicamente en el tipo de losa aligerada. El primer modelo utiliza ladrillos de arcilla, mientras que el segundo emplea casetones de Tecnopor. Siendo el peso de estos materiales el factor a analizar.

Figura 3

Ventana de inicio del software ETABS

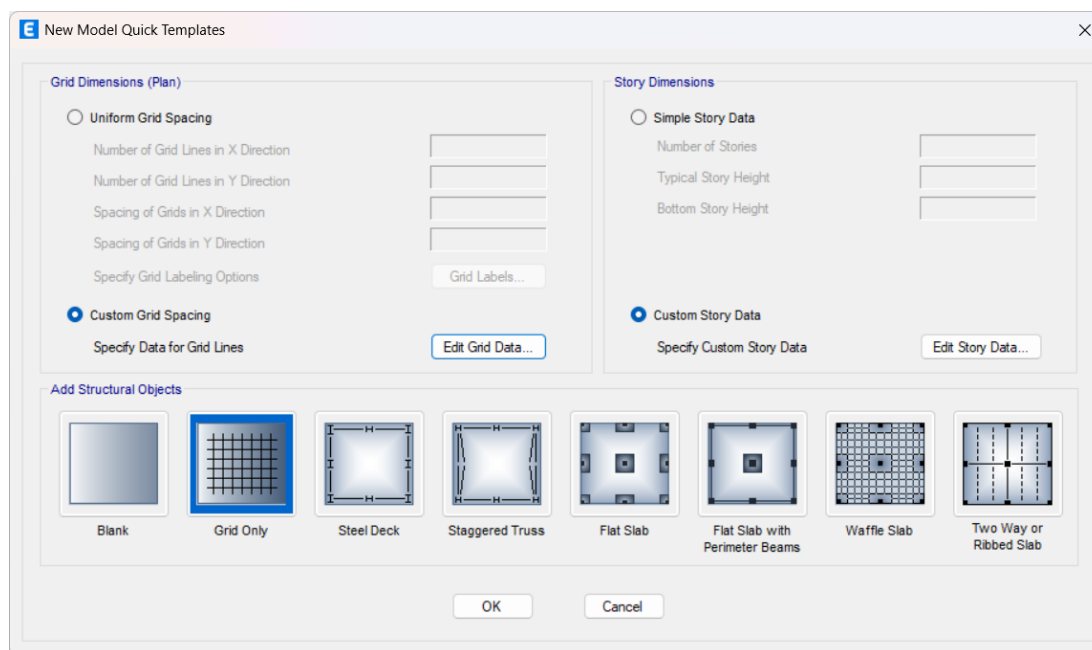


En la imagen se muestra la ventana inicial de ETABS al crear un nuevo modelo, donde se selecciona la configuración por defecto. Posteriormente, se personalizan todas las características y materiales de los elementos

estructurales, así como las unidades de medida, estableciéndolas en metros y kilogramos fuerza.

Figura 4

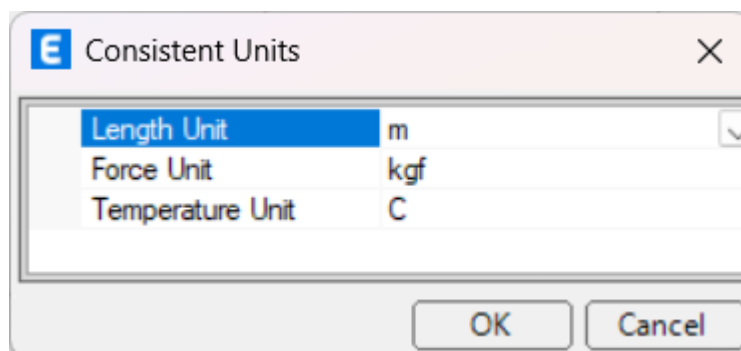
Tipos de plantillas



En la imagen se muestra la configuración por defecto proporcionada por el software ETABS, previamente seleccionada. Para este caso, se elige la opción "Grid Only", que permite definir la modelación utilizando únicamente la plantilla de grillas en los ejes "X" y "Y". Posteriormente, se modificarán las dimensiones y la elevación según los requerimientos del proyecto.

Figura 5

Configuración de las unidades



Posteriormente, se modificarán las unidades predeterminadas del software, estableciendo las del Sistema Internacional, que incluyen metros,

kilogramos-fuerza y grados centígrados. Estas unidades son utilizadas en Perú y, por lo tanto, serán aplicadas en nuestro proyecto.

Figura 6

Configuración de dimensiones de la grilla

Grid System Data

Grid System Name: G1

System Origin: Global X: 0 m, Global Y: 0 m, Rotation: 0 deg

Story Range Option: ☒ Default - All Stories, ☐ User Specified

Top Story: Story3, Bottom Story: Base

Click to Modify/Show: Reference Points..., Reference Planes...

Options: Bubble Size: 1.524 m, Grid Color: [Dark Grey]

Rectangular Grids: ☒ Display Grid Data as Ordinates, ☐ Display Grid Data as Spacing

X Grid Data

Grid ID	X Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
A	0	Yes	End
B	4.53	Yes	End
C	9	Yes	End

Y Grid Data

Grid ID	Y Ordinate (m)	Visible	Bubble Loc
2	3.05	Yes	Start
3	6.9	Yes	Start
4	10.35	Yes	Start
5	15.45	Yes	Start
6	20	Yes	Start

General Grids

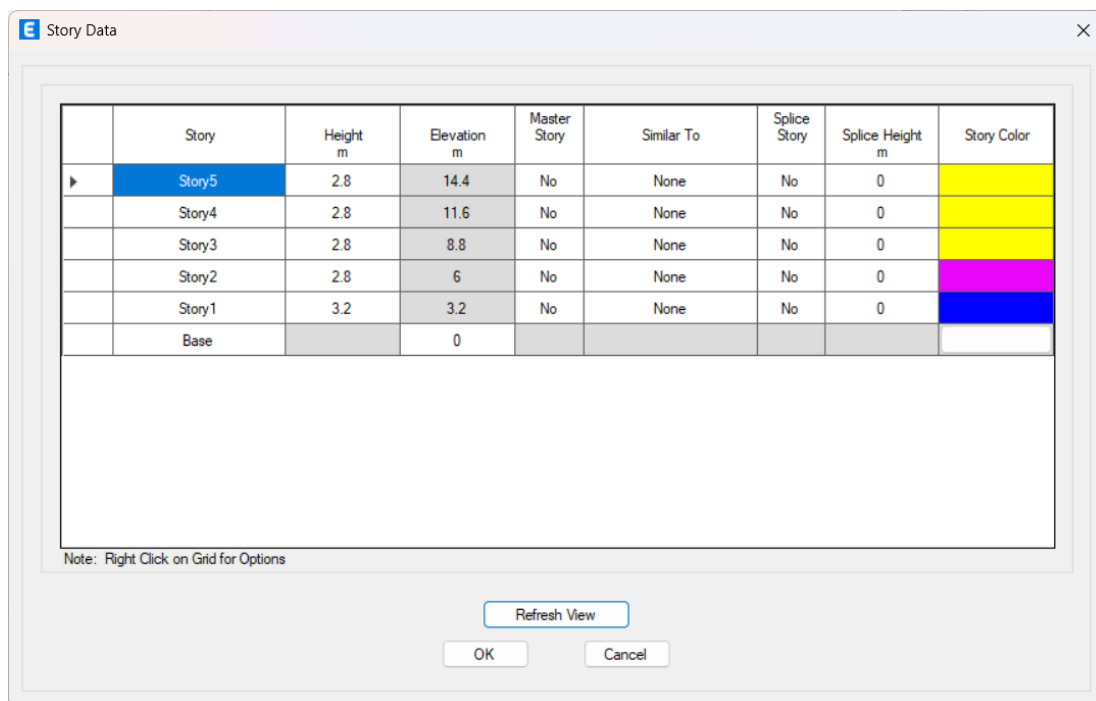
Grid ID	X1 (m)	Y1 (m)	X2 (m)	Y2 (m)	Visible	Bubble Loc
---------	--------	--------	--------	--------	---------	------------

OK Cancel

La figura presenta la configuración de las grillas, ajustadas según las dimensiones de la vivienda aporticada. Se detallan los ejes del proyecto en los sentidos horizontal y vertical, con el punto de partida en las coordenadas (0,0). La distribución contempla tres ejes en el lado corto, con una longitud total de 9 metros, y seis ejes en el lado largo, alcanzando los 20 metros, lo que da como resultado una superficie en planta de 180 m². Las medidas, organizadas de manera acumulativa como se muestra en la tabla, servirán de referencia para la correcta ubicación de los elementos estructurales, facilitando su posterior análisis.

Figura 7

Configuración de las elevaciones de la grilla



The screenshot shows a software window titled "Story Data" with a close button (X) in the top right corner. Inside the window is a table with the following data:

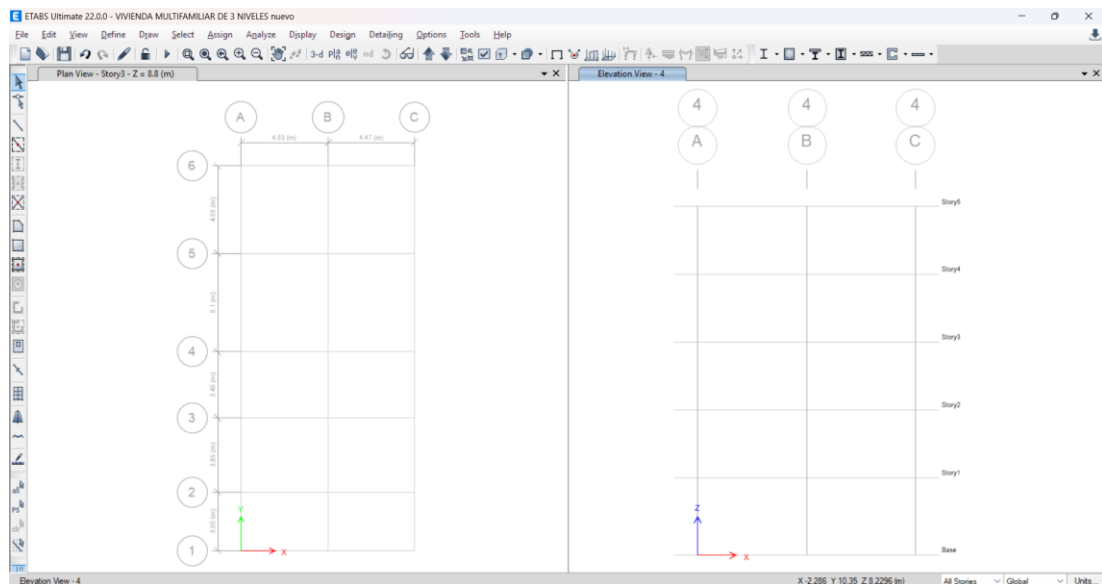
	Story	Height m	Elevation m	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height m	Story Color
▶	Story5	2.8	14.4	No	None	No	0	Yellow
	Story4	2.8	11.6	No	None	No	0	Yellow
	Story3	2.8	8.8	No	None	No	0	Yellow
	Story2	2.8	6	No	None	No	0	Magenta
	Story1	3.2	3.2	No	None	No	0	Blue
	Base		0					

Below the table is a large empty rectangular area. At the bottom of the window, there is a "Note: Right Click on Grid for Options" and three buttons: "Refresh View", "OK", and "Cancel".

La tabla presenta las dimensiones de las elevaciones de la vivienda, la cual consta de cinco pisos, denominados "historias" en el software. Al igual que en la tabla anterior, las elevaciones parten del mismo eje de coordenadas y están organizadas de manera acumulativa, alcanzando una altura total de 14.4 metros desde la base hasta el techo del tercer nivel. Además, se asignó un color distintivo a cada piso, lo que facilitará su identificación y análisis.

Figura 8

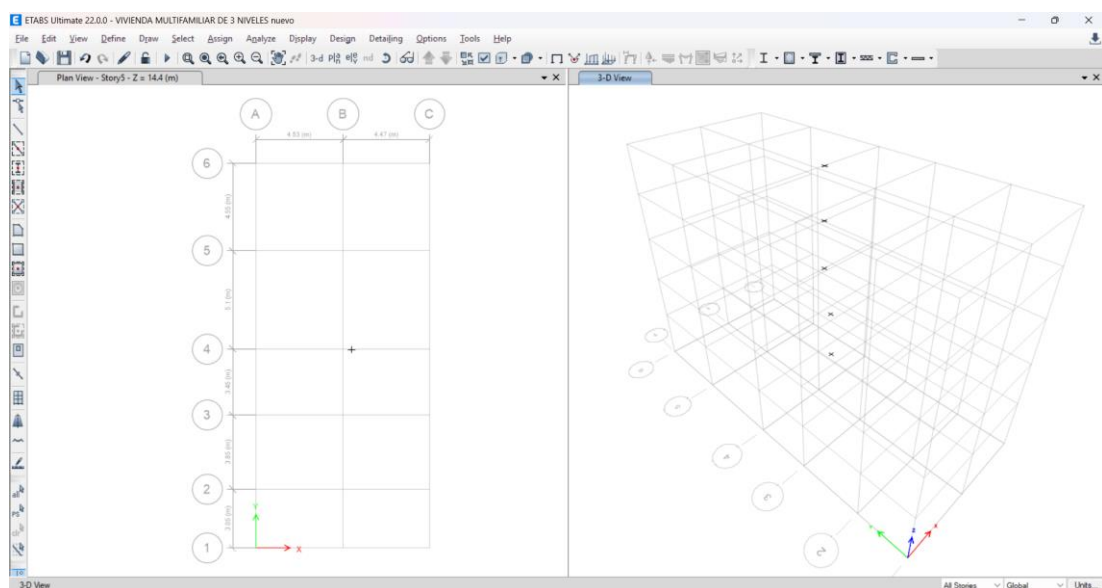
Vista en planta y elevación de las grillas



La imagen muestra las grillas que representan los ejes del proyecto, establecidas con las medidas previamente definidas. Además, se ha configurado un sistema de referencia ubicado en uno de los extremos de la vivienda para facilitar la orientación y el modelado estructural.

Figura 9

Vista 3d de las grillas



En la figura se observa las grillas vistas en sus 3 dimensiones.

Figura 10

Creación del material concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$

The image shows a 'Material Property Data' dialog box for creating a concrete material. The dialog is organized into several sections:

- General Data:** Includes fields for Material Name (set to 'Concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ '), Material Type (set to 'Concrete'), Directional Symmetry Type (set to 'Isotropic'), Material Display Color (a blue square with a 'Change...' button), and Material Notes (a 'Modify/Show Notes...' button).
- Material Weight and Mass:** Features two radio buttons: 'Specify Weight Density' (selected) and 'Specify Mass Density'. Below are input fields for 'Weight per Unit Volume' (2400 kgf/m^3) and 'Mass per Unit Volume' (244.732 $\text{kgf-s}^2/\text{m}^4$).
- Mechanical Property Data:** Contains input fields for 'Modulus of Elasticity, E' (188197888.674605 kgf/m^2), 'Poisson's Ratio, U' (0.2), 'Coefficient of Thermal Expansion, A' (0.0000099 $1/\text{C}$), and 'Shear Modulus, G' (911749120.28 kgf/m^2).
- Design Property Data:** Includes a single button: 'Modify/Show Material Property Design Data...'.
- Advanced Material Property Data:** Contains three buttons: 'Nonlinear Material Data...', 'Material Damping Properties...', and 'Time Dependent Properties...'.
- Modulus of Rupture for Cracked Deflections:** Features two radio buttons: 'Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)' (selected) and 'User Specified' (with an empty input field).

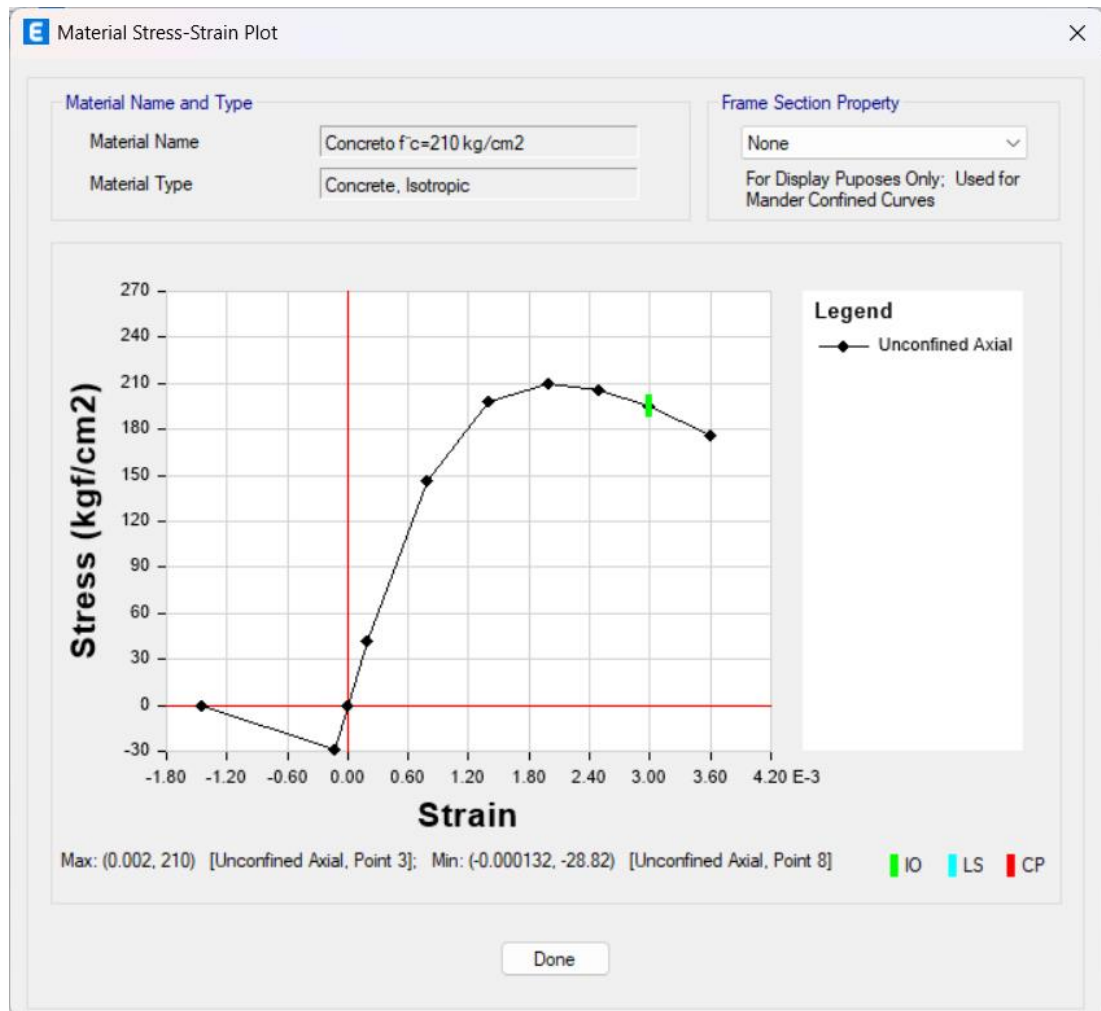
At the bottom of the dialog are 'OK' and 'Cancel' buttons.

La imagen presenta los parámetros necesarios para la simulación del concreto con una resistencia a la compresión de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ dentro del

software. En ella se incluyen el peso unitario y el módulo de elasticidad del material, los cuales son fundamentales para definir con precisión las propiedades del concreto en el modelo.

Figura 11

Diagrama no lineal del concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ no confinado



La gráfica muestra la relación esfuerzo-deformación del concreto con $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, donde se observa el comportamiento típico del material bajo carga axial no confinada. Inicialmente, el esfuerzo aumenta de manera no lineal con la deformación hasta alcanzar su máxima resistencia, seguida de una zona de ablandamiento. Dado que se realizará un análisis lineal, solo se considerará la parte inicial de la curva, donde el concreto responde de manera elástica. En esta fase, la relación entre el esfuerzo y la deformación es proporcional y está gobernada por el módulo de elasticidad, lo que simplifica

los cálculos estructurales al evitar el comportamiento no lineal y la degradación del material.

Figura 12

Creación del material acero $f_y=4200$ kg/cm²

Material Property Data

General Data

Material Name: Acero $f_y=4200$ Kg/Cm²

Material Type: Rebar

Directional Symmetry Type: Uniaxial

Material Display Color: Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☒ Specify Weight Density ☐ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 7800 kgf/m³

Mass per Unit Volume: 795.379 kgf-s²/m⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: 20389019158 kgf/m²

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000117 1/C

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Nonlinear Material Data... Material Damping Properties... Time Dependent Properties...

OK Cancel

De manera similar, se establecen los parámetros necesarios para definir correctamente el acero de refuerzo $f_y=4200$ kg/cm² ("rebar"). Entre las propiedades fundamentales consideradas se encuentran el peso unitario y el

módulo de elasticidad, los cuales son esenciales para una adecuada representación del material en el modelo.

Figura 13

Propiedades del acero $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$

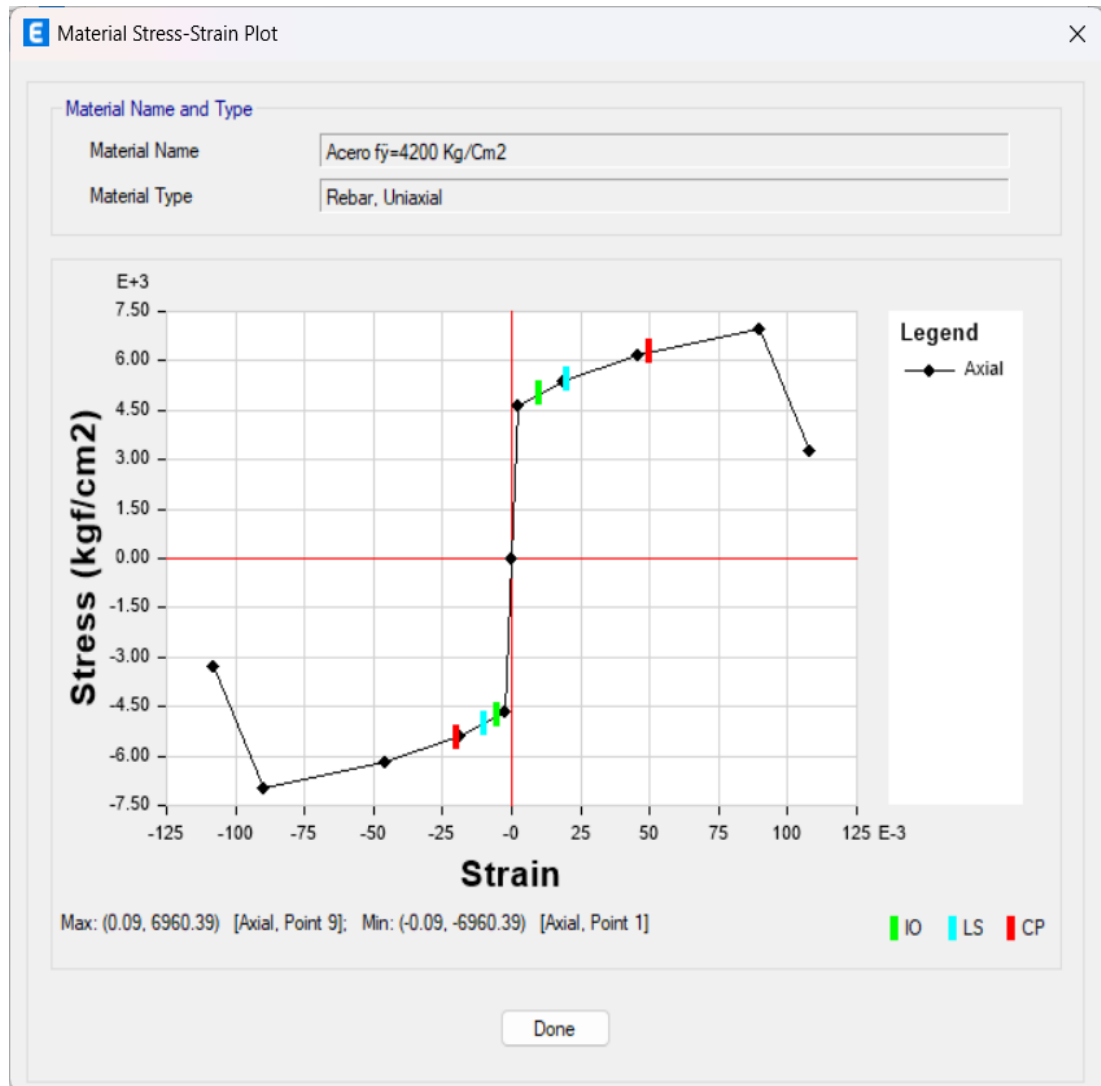
Material Name and Type		
Material Name	Acero $f_y=4200 \text{ Kg/Cm}^2$	
Material Type	Rebar, Uniaxial	
Grade	Grade 60	

Design Properties for Rebar Materials		
Minimum Yield Strength, F_y	42000000	kgf/m ²
Minimum Tensile Strength, F_u	63000000	kgf/m ²
Expected Yield Strength, F_{ye}	46402595.33	kgf/m ²
Expected Tensile Strength, F_{ue}	69603892.99	kgf/m ²

La imagen muestra la configuración de las propiedades del acero de refuerzo grado 60 con un límite de fluencia de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. Se especifican valores clave como la resistencia mínima a la fluencia (F_y), la resistencia mínima a la tracción (F_u), así como los valores esperados de estos parámetros (F_{ye} y F_{ue}). Estos datos son fundamentales para la correcta definición del material en el análisis estructural.

Figura 14

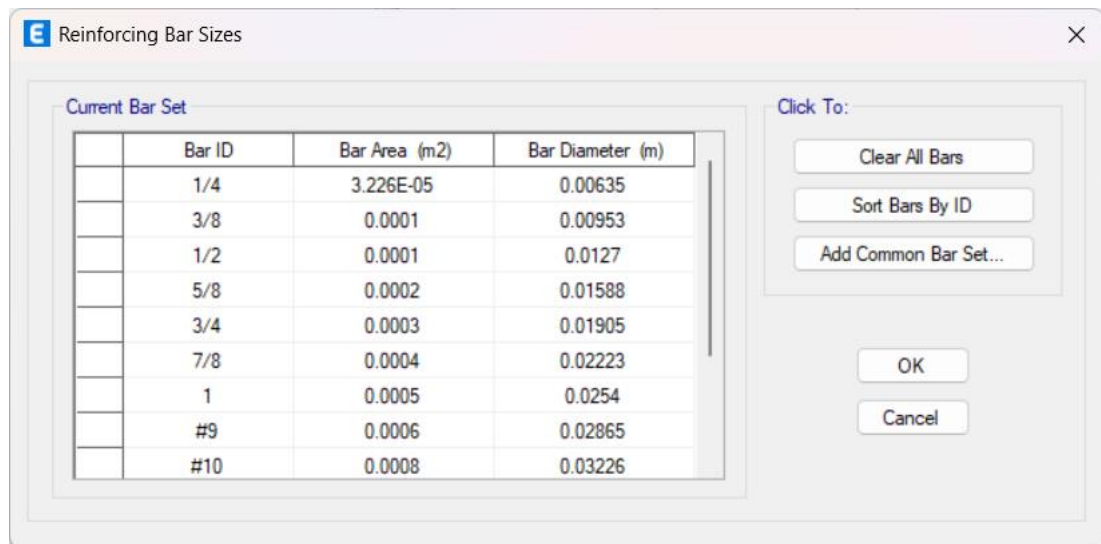
Diagrama no lineal del acero $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$



El gráfico muestra la relación esfuerzo-deformación para el acero de refuerzo con $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, reflejando su comportamiento mecánico. Se identifica una fase elástica inicial, seguida de una zona de fluencia y un endurecimiento hasta la falla. Es importante recalcar que, para este estudio, se realizará un análisis lineal, lo que implica considerar únicamente la fase elástica del material, sin tomar en cuenta el comportamiento plástico ni el endurecimiento. Esto permitirá simplificar el modelo estructural y facilitar la interpretación de los resultados.

Figura 15

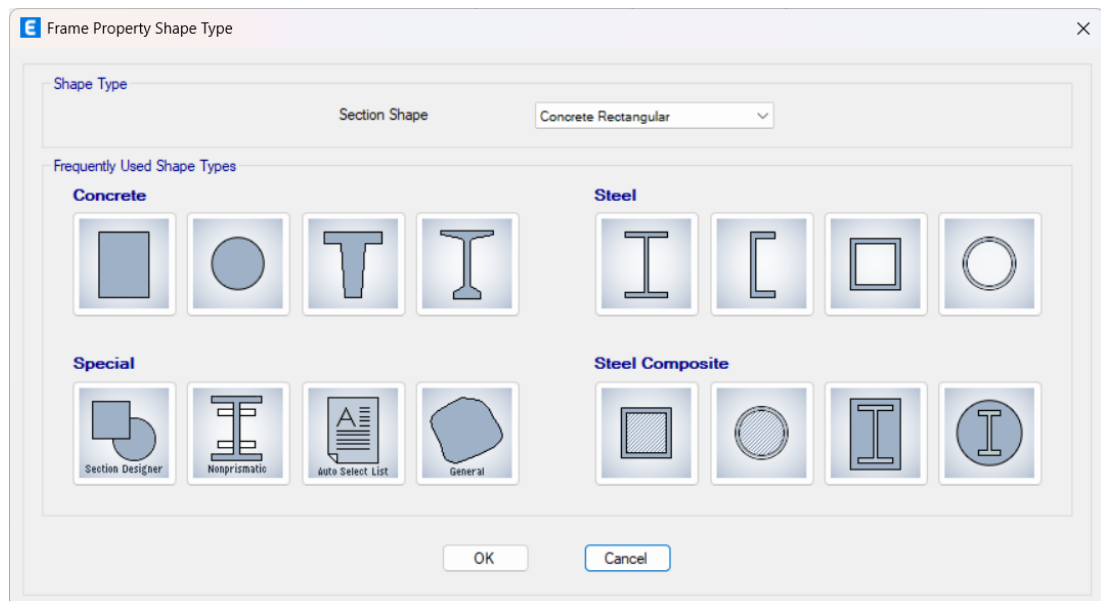
Creación de los diámetros de las varillas de refuerzo



En la figura se muestra la creación del acero de refuerzo en función al diámetro de la varilla clasificándolas desde varillas de 1/4" hasta varillas de 1" de diámetro, los cuales usaremos para definir eficientemente nuestros elementos estructurales

Figura 16

Creación de las secciones para los elementos estructurales rectangulares de concreto



En la imagen se muestra el comando para definir la sección de nuestros elementos estructurales, en nuestro caso nuestras columnas y vigas serán de concreto de sección rectangular.

Figura 17

Creación de la columna C1

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: C1 50x25

Material: Concreto $f'_c=210$ kg/cm²

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 25 cm

Width: 50 cm

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel

Se creó el primer tipo de columna (C-1) de acuerdo con las dimensiones y la cuantía de acero especificadas en el plano estructural. La columna tiene unas dimensiones de 25 cm x 50 cm, cumpliendo con los criterios de diseño estructural establecidos.

Figura 18

Aceros en la columna C1

E Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

- ☒ P-M2-M3 Design (Column)
- ☐ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: Acero fy=4200 Kg/Cm2

Confinement Bars (Ties): Acero fy=4200 Kg/Cm2

Reinforcement Configuration

- ☒ Rectangular
- ☐ Circular

Confinement Bars

- ☒ Ties
- ☐ Spirals

Check/Design

- ☒ Reinforcement to be Checked
- ☐ Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: 4 cm

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 4

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 2

Longitudinal Bar Size and Area: 5/8 ... 0.0002 m²

Corner Bar Size and Area: 5/8 ... 0.0002 m²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: 3/8 ... 0.0001 m²

Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 10 cm

Number of Confinement Bars in 3-dir: 4

Number of Confinement Bars in 2-dir: 2

OK Cancel

En la imagen se presentan las características asignadas a la columna, la cual se ha definido como un elemento estructural de tipo columna con refuerzo de acero longitudinal y transversal de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. Se ha considerado una sección rectangular con dimensiones de 25 cm x 50 cm y un recubrimiento de 4 cm. El refuerzo longitudinal está compuesto por cuatro barras en el eje horizontal y dos en el eje vertical, utilizando acero de $\frac{5}{8}$ " de diámetro, mientras que los estribos son de $\frac{3}{8}$ " de diámetro, dispuestos cada 10 cm a lo largo de la columna. Además, se ha seleccionado la opción "reinforcement to be checked", lo que permitirá evaluar y corregir si las áreas de acero propuestas son eficientes o insuficientes con respecto al diseño, asegurando así un análisis estructural más preciso.

Figura 19

Creación de la columna C2

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: C2 40x30

Material: Concreto $f'_c=210$ kg/cm²

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 30 cm

Width: 40 cm

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...
Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK
Cancel

Luego se definió el segundo tipo de columna (C-2) de acuerdo con las dimensiones y la cuantía de acero especificadas en el plano estructural. La columna tiene unas dimensiones de 30 cm x 40 cm, cumpliendo con los criterios de diseño estructural establecidos.

Figura 20

Aceros en la columna C2

E Frame Section Property Reinforcement Data

Design Type

- ☒ P-M2-M3 Design (Column)
- ☐ M3 Design Only (Beam)

Rebar Material

Longitudinal Bars: Acero fy=4200 Kg/Cm2

Confinement Bars (Ties): Acero fy=4200 Kg/Cm2

Reinforcement Configuration

- ☒ Rectangular
- ☐ Circular

Confinement Bars

- ☒ Ties
- ☐ Spirals

Check/Design

- ☒ Reinforcement to be Checked
- ☐ Reinforcement to be Designed

Longitudinal Bars

Clear Cover for Confinement Bars: 4 cm

Number of Longitudinal Bars Along 3-dir Face: 3

Number of Longitudinal Bars Along 2-dir Face: 3

Longitudinal Bar Size and Area: 5/8 ... 0.0002 m²

Corner Bar Size and Area: 5/8 ... 0.0002 m²

Confinement Bars

Confinement Bar Size and Area: 3/8 ... 0.0001 m²

Longitudinal Spacing of Confinement Bars (Along 1-Axis): 10 cm

Number of Confinement Bars in 3-dir: 3

Number of Confinement Bars in 2-dir: 3

OK Cancel

Al igual que en la imagen anterior, se presentan las características asignadas a la columna, la cual se ha definido como un elemento estructural de tipo columna con refuerzo de acero longitudinal y transversal de $f_y = 4200$ kg/cm². Se ha considerado una sección rectangular con dimensiones de 30 cm x 40 cm y un recubrimiento de 4 cm. El refuerzo longitudinal está compuesto por 6 barras, utilizando acero de $\frac{5}{8}$ " de diámetro, mientras que los estribos son de $\frac{3}{8}$ " de diámetro, dispuestos cada 10 cm a lo largo de la columna. Además, se ha seleccionado la opción "reinforcement to be checked", lo que permitirá evaluar y corregir si las áreas de acero propuestas son eficientes o insuficientes con respecto al diseño, asegurando así un análisis estructural más preciso.

Figura 21

Creación de la viga peraltada 101

Frame Section Property Data

General Data

Property Name: Viga 30x40

Material: Concreto $f'_c=210$ kg/cm²

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

Shape

Section Shape: Concrete Rectangular

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

Depth: 40 cm

Width: 30 cm

Show Section Properties...

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Column

Property Modifiers

Modify/Show Modifiers...

Currently Default

Reinforcement

Modify/Show Rebar...

OK

Cancel

La figura muestra la definición de las características de la viga peraltada 101, la cual tiene dimensiones transversales de 30x40 cm, está construida con concreto de $f'_c = 210$ kg/cm² y cuenta con refuerzo de acero de $f_y = 4200$ kg/cm². Es importante aclarar que el software representa la sección de la viga sin aceros en la vista previa, únicamente para diferenciarla de una columna, aunque sí incluye el refuerzo de acero correspondiente en el análisis estructural.

Figura 22

Características del acero de refuerzo en vigas

La figura muestra la configuración de la viga que se diseña considerando solo momentos flectores (M3 Design Only), utilizando acero de 4200 kg/cm² tanto en refuerzo longitudinal como en estribos. El recubrimiento del refuerzo es de 6 cm en la parte superior e inferior. No se ha sobrescrito manualmente el área de acero en los extremos de la viga, con la intención de que ETABS calcule automáticamente el refuerzo necesario y poder responder a nuestros objetivos.

Figura 23

Creación de la viga peraltada 102

Del mismo modo, la figura muestra la definición de las características de la viga peraltada 102, la cual tiene dimensiones transversales de 25x40 cm, está construida con concreto de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y cuenta con refuerzo de acero de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.

Figura 24

Características del acero de refuerzo en vigas

La figura muestra la configuración de la viga que se diseña considerando solo momentos flectores (M3 Design Only), utilizando acero de 4200 kg/cm² tanto en refuerzo longitudinal como en estribos. El recubrimiento del refuerzo es de 6 cm en la parte superior e inferior. No se ha sobrescrito manualmente el área de acero en los extremos de la viga, con la intención de que ETABS calcule automáticamente el refuerzo necesario y poder responder a nuestros objetivos.

Figura 25

Creación de la placa de refuerzo de 20cm de espesor

Wall Property Data

General Data

Property Name	PLACA 20cm
Property Type	Specified
Wall Material	Concreto $f'_c=210$ kg/cm ²
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Shell-Thin
Modifiers (Currently Default)	Modify/Show...
Display Color	 Change...
Property Notes	Modify/Show...

Property Data

Thickness	20	cm
-----------	----	----

☐ Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall

OK Cancel

Se modeló una placa de 20 cm de espesor utilizando el modelo Shell Thin y concreto de $f'_c = 210$ kg/cm², con el objetivo de restringir y rigidizar la estructura en uno de sus ejes. Esto permitirá una diferenciación más clara de los desplazamientos en el análisis sísmico.

Figura 26

Creación de la losa aligerada de 0,20m de espesor

Slab Property Data

General Data

Property Name: Losa Aligerada de 20cm

Slab Material: Concreto $f'_c=210$ kg/cm²

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Membrane

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color: [Blue Box] Change...

Property Notes: Modify/Show...

☐ Use Special One-Way Load Distribution

Property Data

Type: Ribbed

Overall Depth: 20 cm

Slab Thickness: 5 cm

Stem Width at Top: 10 cm

Stem Width at Bottom: 10 cm

Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction): 40 cm

Rib Direction is Parallel to: Local 1 Axis

OK Cancel

La figura muestra la creación de un elemento con 20 cm de espesor, elaborado con concreto de $f'_c = 210$ kg/cm², utilizando los tipos membrana y ribbed para analizar la losa en una sola dirección. Esto permite simular una losa aligerada real, compuesta por una losa maciza de 5 cm, viguetas o nervios de 10 cm, analizadas en un ancho de 40 cm, y restringida únicamente a esfuerzos en el eje local 1 (vertical).

Figura 27

Creación de la losa de escalera

Slab Property Data

General Data

Property Name	Losa de escalera
Slab Material	Concreto $f'_c=210$ kg/cm ²
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Membrane
Modifiers (Currently User Specified)	Modify/Show...
Display Color	 Change...
Property Notes	Modify/Show...

☐ Use Special One-Way Load Distribution

Property Data

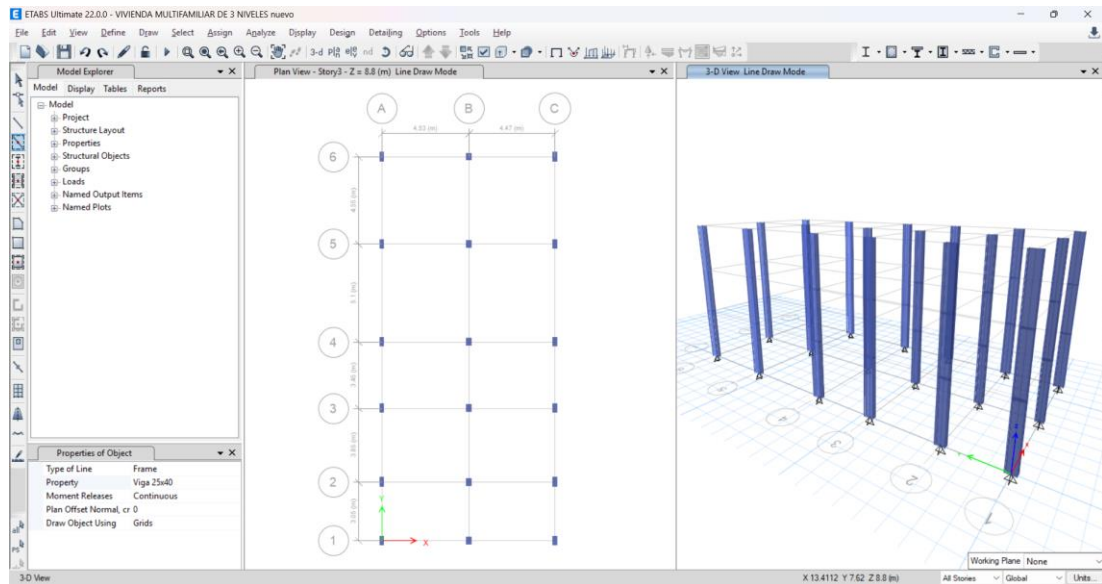
Type	Ribbed
Overall Depth	20 cm
Slab Thickness	5 cm
Stem Width at Top	10 cm
Stem Width at Bottom	10 cm
Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction)	40 cm
Rib Direction is Parallel to	Local 1 Axis

OK Cancel

La escalera fue modelada con un espesor de 20 cm, utilizando concreto de $f'_c = 210$ kg/cm², con el objetivo de representar su comportamiento estructural dentro del modelo. Se consideró como un elemento tipo membrana para capturar de manera adecuada sus deformaciones y esfuerzos. Esta configuración permite evaluar su interacción con el resto de la estructura y su influencia en la rigidez global del edificio.

Figura 28

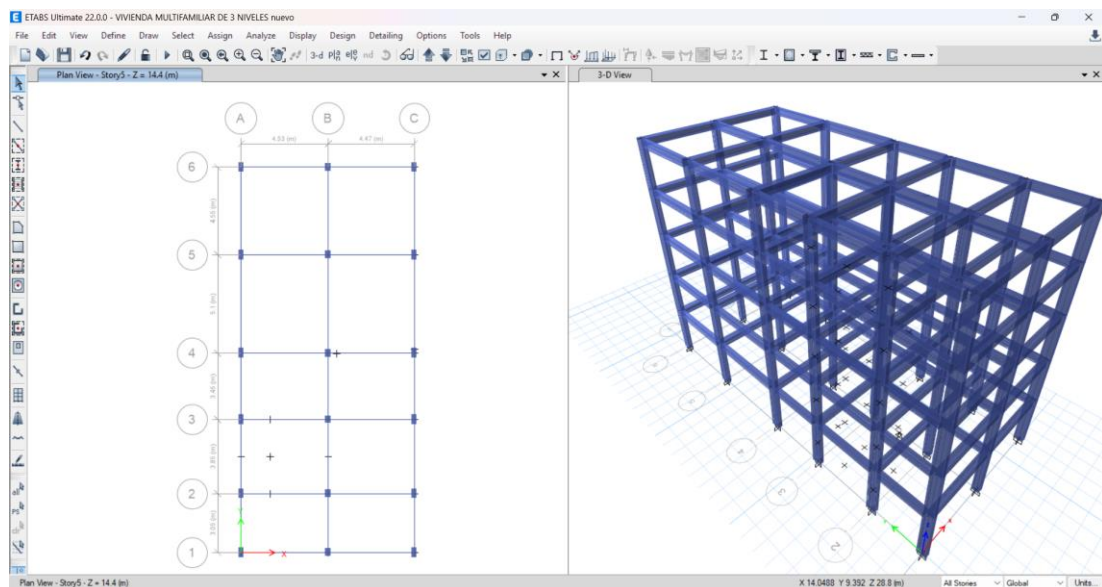
Colocación de columnas C1 y C2



Se procedió a modelar las columnas a lo largo de todos los niveles de la estructura, como se muestra en la imagen en primera instancia apoyada por las grillas antes creadas.

Figura 29

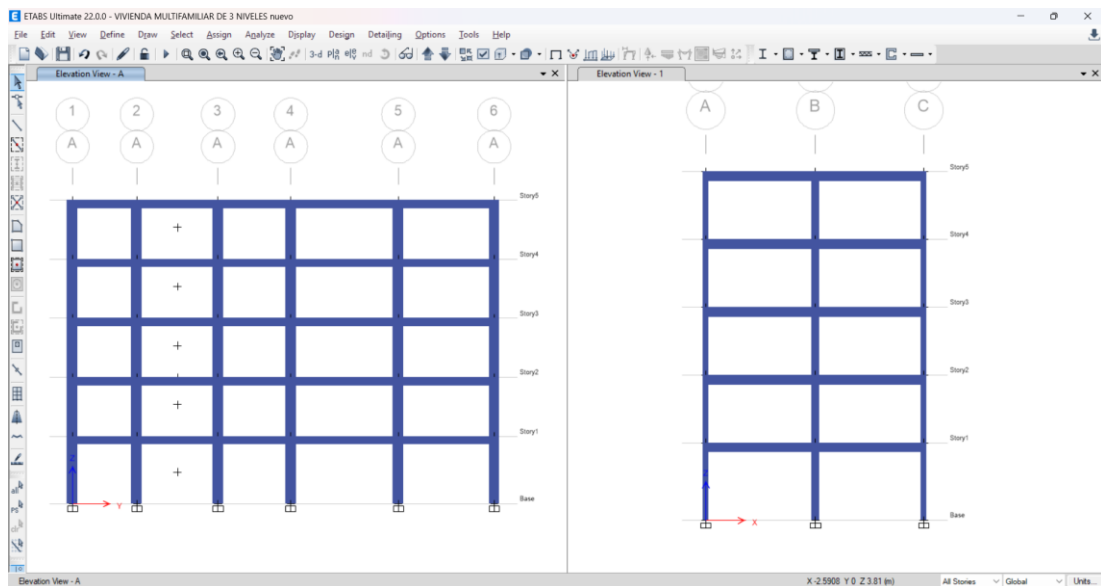
Colocación de vigas peraltadas de 30x40cm y 25x40cm



Luego se completó con las vigas para toda la estructura en todos los niveles como se muestra en la figura.

Figura 30

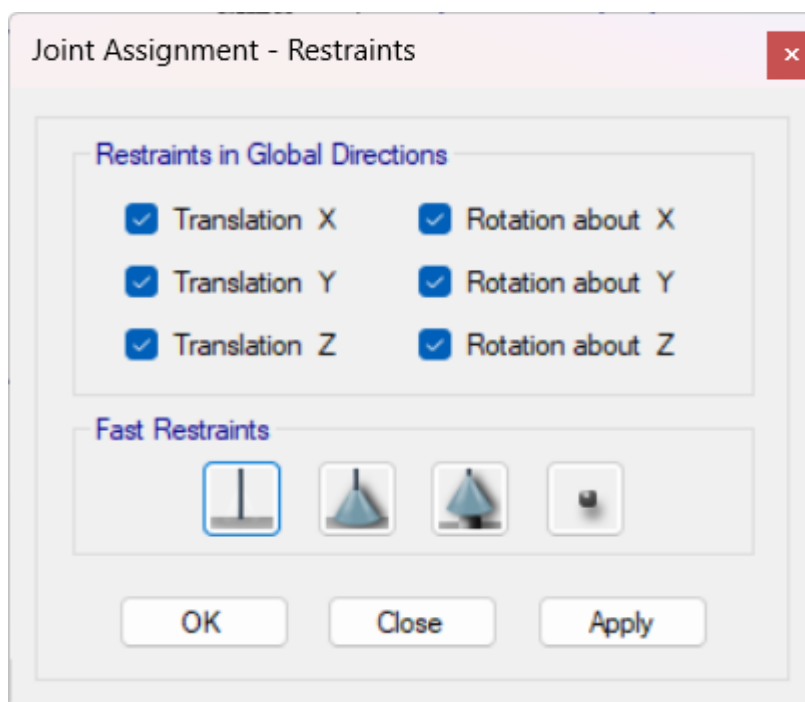
Restricción de la base como tipo empotrada



Es importante restringir la base, en este caso será de tipo empotrado con el objetivo de que no generen momentos, para así poder analizar solo los niveles superiores a la base.

Figura 31

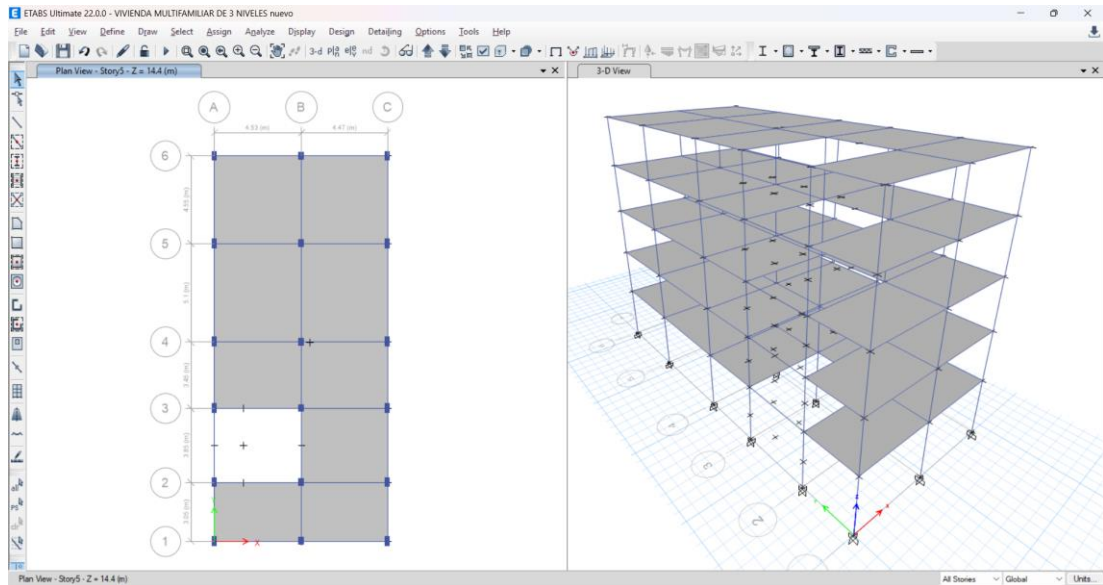
Comando para restricción de la base como tipo empotrada



Como se muestra en la imagen, se procedió a restringir la base, simulando la función de los cimientos con la intención de que no generen momentos que afecten el análisis de los siguientes niveles.

Figura 32

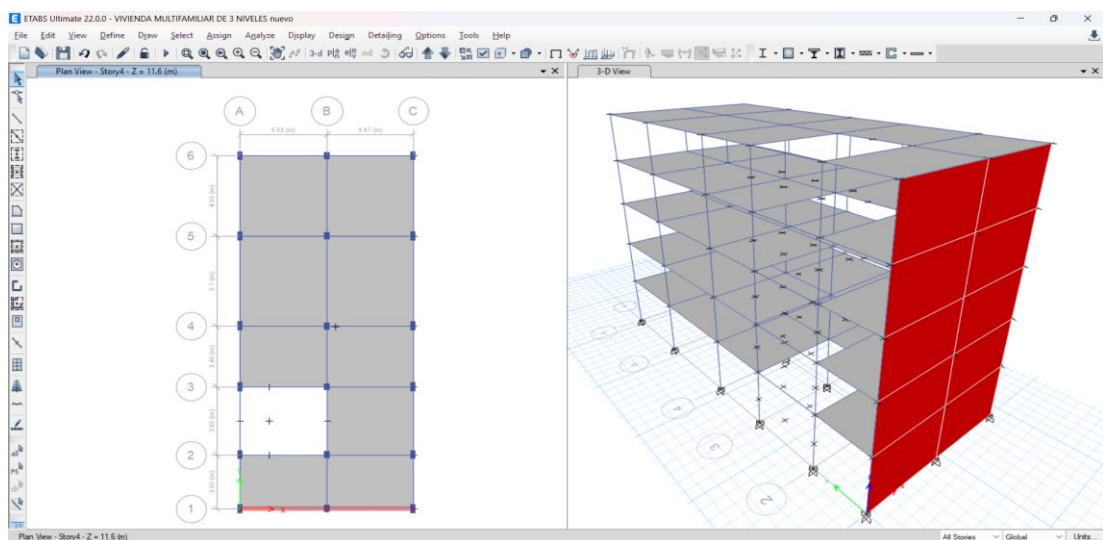
Colocación de la losa aligerada



Se modelaron las losas aligeradas en todos los niveles, dejando una abertura para la escalera con el fin de representar fielmente la distribución estructural de la vivienda como diafragmas rígidos y analizar su impacto en el comportamiento global de la edificación.

Figura 33

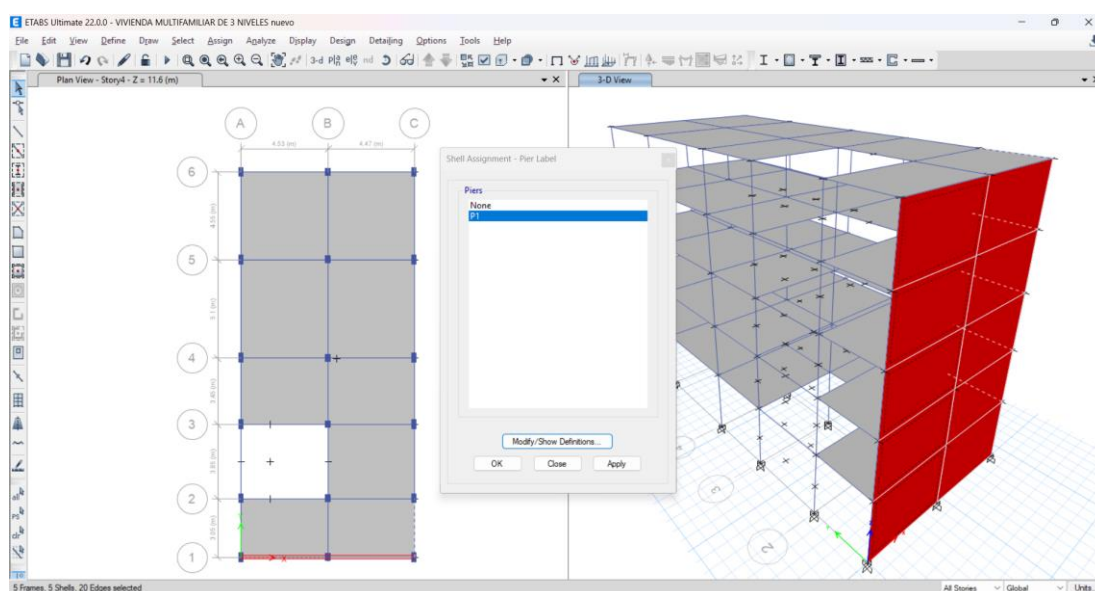
Colocación de la placa



Se ubicó la placa en un extremo de la estructura para aumentar la rigidez y reducir los desplazamientos máximos provocados por los movimientos sísmicos en la dirección Y. Esta configuración es clave para comparar su efecto con el comportamiento del eje X, que no cuenta con placas, permitiendo así un análisis contrastivo del desempeño sísmico estático entre ambas direcciones.

Figura 34

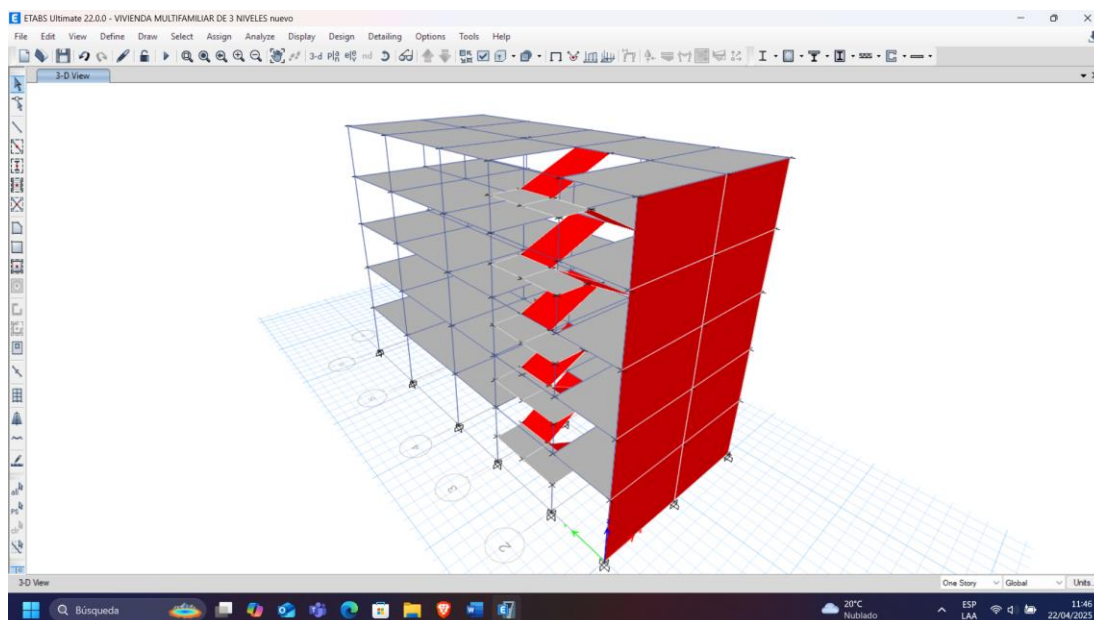
Asignación de etiqueta de placa



Luego, se asignó un Pier Label, que consiste en la colocación de etiquetas para que el programa identifique correctamente el elemento como una placa y no como otro tipo de elemento estructural. Este paso es crucial para garantizar un análisis adecuado del comportamiento de la estructura.

Figura 35

Colocación de la escalera



Se instaló la escalera desde el primer nivel hasta el último, siguiendo el plano de distribución de la vivienda. De este modo, se conserva el diseño original de la estructura, permitiendo un análisis más preciso.

METRADO DE CARGAS

Para asignar cargas a nuestra edificación, es fundamental conocer tanto las cargas muertas (peso propio de los elementos estructurales) como las cargas vivas (peso variable de tabiques, muebles, personas, entre otros). Esto nos permitirá realizar un modelado más preciso y eficiente en el software, asegurando una representación realista del comportamiento estructural.

METRADO DE LA CARGA MUERTA PARA LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Para determinar la carga muerta en la edificación, es fundamental conocer el peso propio de los elementos estructurales, el cual se calcula analíticamente como el producto entre el volumen y el peso unitario de cada material. En nuestro análisis, consideraremos el concreto armado.

Para concreto armado, el peso de 1 m³ es 2.4 tonf (2.4 tonf/m³) (Norma E.020, 2021).

Concreto armado en columnas:

1er, 2do, 3er, 4to y 5to nivel:

$$3.2\text{m} \times 0.50\text{m} \times 0.25\text{m} = 0.4 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso (kg)} = 0.4 \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Carga puntual por columna (kg)} = 960 \text{ kg}$$

Concreto armado en vigas:

Vigas en el aligerado del 1er, 2do, 3er, 4to y 5to nivel:

$$\text{Ejes A y C} = 20\text{m} \times 0.25\text{m} \times 0.40\text{m} = 2 \text{ m}^3$$

$$\text{Carga distribuida (Ejes A y C)} = (2 \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg/m}^3) / 20 \text{ m} = 240 \text{ kg/m}$$

$$\text{Eje B} = 20\text{m} \times 0.30\text{m} \times 0.40\text{m} = 2.4 \text{ m}^3$$

$$\text{Carga distribuida (Eje B)} = (2.4 \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg/m}^3) / 20 \text{ m} = 288 \text{ kg/m}$$

$$\text{Ejes (1,2,3,4,5,6)} = 9\text{m} \times 0.30\text{m} \times 0.40\text{m} = 1.08 \text{ m}^3$$

$$\text{Carga distribuida (Eje 1-6)} = (1.08 \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg/m}^3) / 9\text{m} = 288 \text{ kg/m}$$

Concreto armado en escaleras:

Escalera del 1er, 2do, 3er, 4to y 5to nivel:

$$\text{Volumen total de la escalera por piso: } 1.53 \text{ m}^3$$

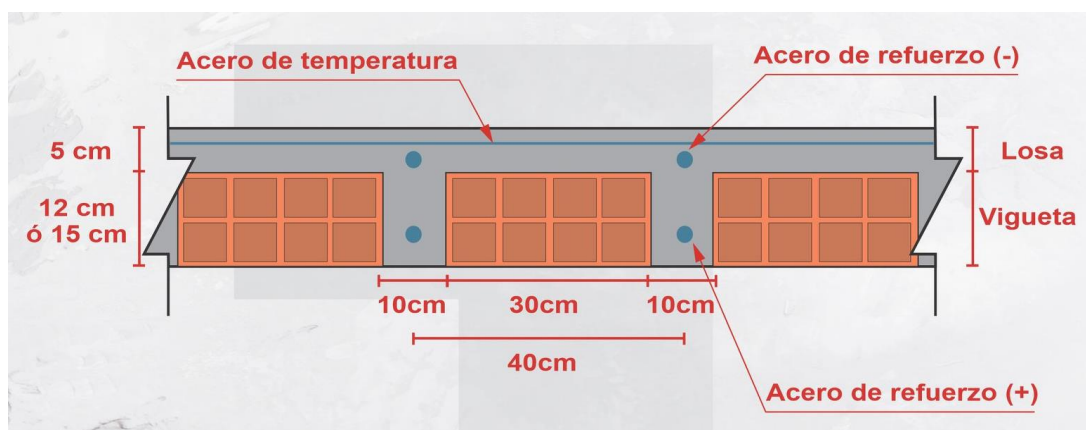
$$\text{Carga por losa maciza (kg)} = (1.53 \text{ m}^3 \times 2400 \text{ kg/m}^3) / 7.65 \text{ m}^2 = 480 \text{ kg/m}^2$$

Nota: Estos valores serán importantes para introducirlos en el software y poder realizar un análisis detallado.

METRADO PARA LA LOSA ALIGERADA

Figura 36

Detalle de losa aligerada



La losa aligerada que se usó, tiene un espesor total de 20 cm, compuesto por una capa superior maciza de 5 cm y un sistema de aligeramiento de 15 cm con ladrillos de arcilla y una segunda losa con casetones de Tecnopor. Las viguetas o nervios recorren todo el espesor de la losa, con una sección adicional de concreto de 15 cm bajo la capa superior. El sistema se organiza en módulos de 40 cm de ancho, donde 30 cm corresponden al bloque aligerante y 10 cm a dos nervios de 5 cm cada uno. Se usará el mismo detalle aligerado y dimensiones de los materiales aligerantes (ladrillos de arcilla y casetones de Tecnopor) para el análisis, siendo la única diferencia en su metrado de carga muerta (peso propio) para simular de forma más real dos losas con materiales y pesos distintos.

Dimensiones totales de la losa aligerada:

Largo: 20 m

Ancho: 9 m

Espesor total: 0,20 m

Área total: 20 m x 9 m = 180 m²

Abertura para escalera:

Dimensiones: 3,85 m x 4,53 m = 17,44 m²

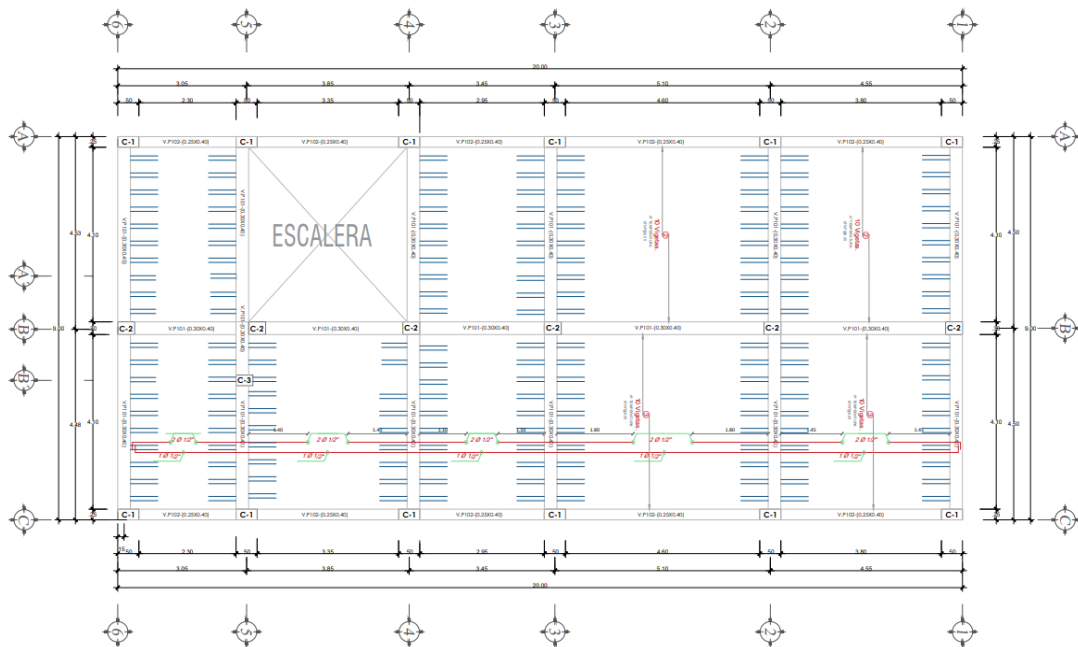
Área efectiva de losa: $180 \text{ m}^2 - 17,44 \text{ m}^2 = 162,56 \text{ m}^2$

A continuación, se muestra el cálculo de cargas (metrado) para dos losas aligeradas cada una con distinto material aligerante de 20 cm de espesor (5 cm de concreto macizo arriba y 15 cm de zona aligerada),

LOSA ALIGERADA CON LADRILLOS DE ARCILLA

Figura 37

Plano de la losa aligerada típica con ladrillos de arcilla



Área efectiva = 162,56 m²

CARGA MUERTA

Peso unitario del concreto armado = 2400 kg/m³ (Norma E.060 Concreto Armado, 2020).

Peso unitario para el ladrillo de arcilla: 10,8 kg/bloque

Se calculará la cantidad de ladrillos en 1m² de losa aligerada, así como el volumen (y peso) de concreto en 1m² y el peso del bloque aligerante por 1m², estos valores servirán para introducirlos en el software ETABS.

Tabiquería:

Se considerará como 1,0 kPa (100 kgf/m²) para divisiones móviles de altura completa (Norma E.020, 2021). Para este análisis se tomará a la tabiquería como carga muerta.

Sumatoria total de la carga muerta (por m²)

Peso/m² = 156 kg/m² de concreto + 90 kg/m² de ladrillos de arcilla + 100 kg/m² de tabiquería

Carga muerta = 346 kg/m²

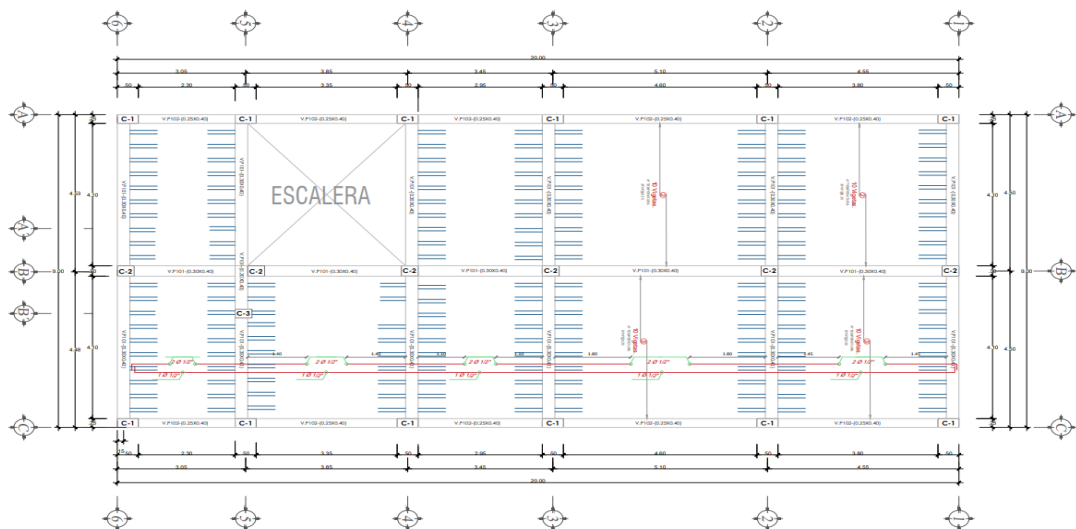
CARGA VIVA

Según la normativa E.060, para la una edificación de uso vivienda la sobrecarga será de 200 kg/m², entonces solo tendremos la carga viva de sobrecarga (Norma E.060 Concreto Armado, 2020).

LOSA ALIGERADA CON CASETONES DE POLIESTIRENO (TECNOPOR)

Figura 39

Plano de la losa aligerada con casetones de poliestireno



Área efectiva = 162.56 m²

CARGA MUERTA

Peso unitario del concreto armado = 2400 kg/m³ (Norma E.060 Concreto Armado, 2020).

Peso unitario para el casetón de poliestireno (Tecnopor) = 1,35 kg/bloque

Se calculará la cantidad de casetones en 1m² de losa aligerada, así como el volumen (y peso) de concreto en 1m² y el peso del bloque aligerante por 1m², estos valores servirán para introducirlos en el software ETABS.

Casetón de poliestireno (15 cm de altura)

Ancho: 0.30 m

Altura: 0.15 m

Longitud: 0.30 m

Peso de 1 casetón = 1,35

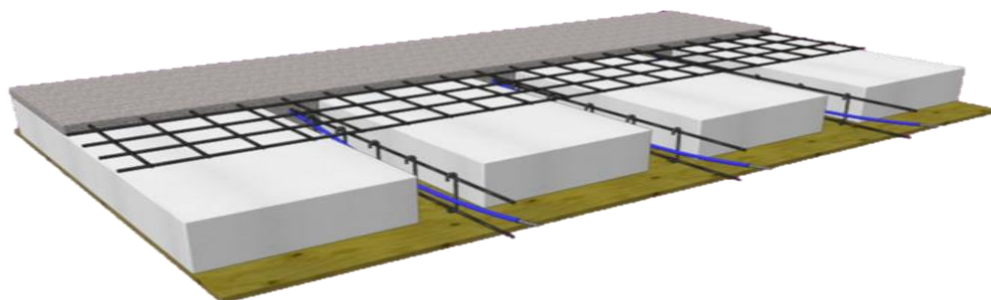
Cantidad de ladrillos por m² = 8.33

Peso de los ladrillos de arcilla por m² = 11,3 kg/m²

Concreto en 1m² de losa aligerada:

Figura 40

Detalle de losa aligerada con casetones de poliestireno



Fuente. fenarq.com

Como se observa en la imagen se consideró el peso del concreto total para 1m² de losa aligerada.

Vol. de concreto en la losa maciza = 1m x 1m x 0,05m = 0,05 m³

Vol. de concreto en las viguetas = 0,10 x 0,15 x 1m = 0,015 m³

Vol. Total de concreto (m³) = 0,05 m³ + 0,015 m³ = 0,065 m³

Peso total del concreto por m² = 0,065 x 2400 kg/m³ = 156 kg/m²

Tabiquería:

Se considerará como 1,0 kPa (100 kgf/m²) para divisiones móviles de altura completa (Norma E.020, 2021). Para este análisis se tomará a la tabiquería como carga muerta.

Sumatoria total de la carga muerta (por m²)

Peso/m² = 156 kg/m² de concreto + 11,3 kg/m² de los casetones de poliestireno + 100 kg/m² de tabiquería

Carga muerta = 267,3 kg/m²

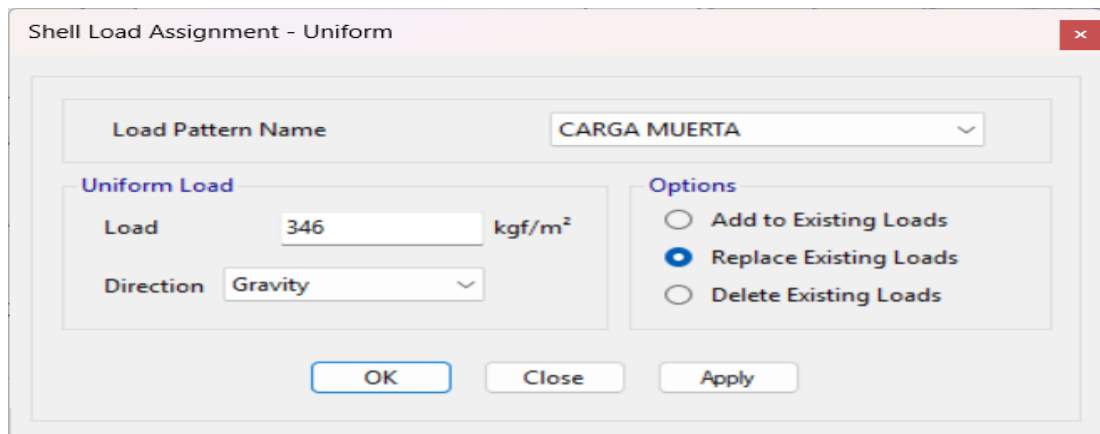
CARGA VIVA

Según la normativa E.060, para la una edificación de uso vivienda la sobrecarga será de 200 kg/m², entonces solo tendremos la carga viva de sobrecarga (Norma E.060 Concreto Armado, 2020).

MODELACIÓN EN ETABS CON LADRILLOS DE ARCILLA

Figura 41

Asignación de carga muerta para la losa con ladrillos de arcilla



Shell Load Assignment - Uniform

Load Pattern Name: CARGA MUERTA

Uniform Load

Load: 346 kgf/m²

Direction: Gravity

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

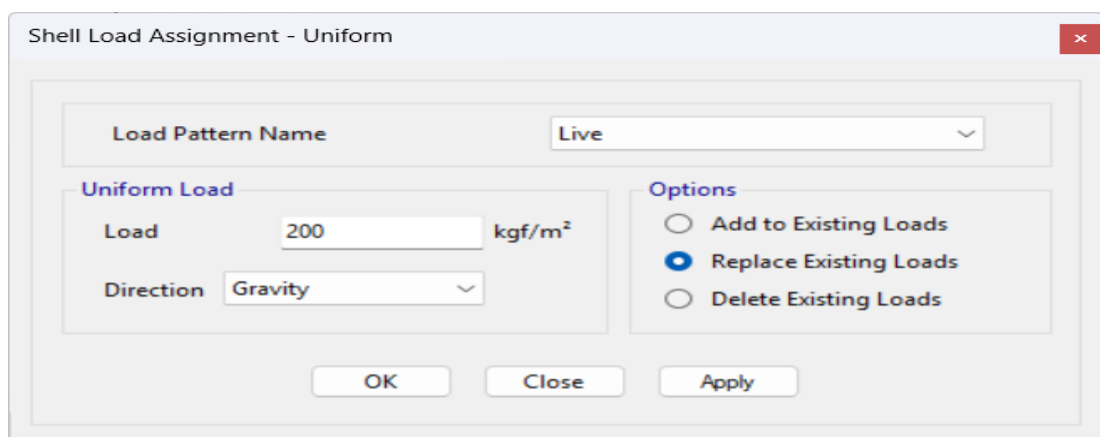
☐ Delete Existing Loads

OK Close Apply

En la figura se puede observar la asignación de cargas a la losa antes creada. La carga introducida será la que calculamos antes, considerar que esta carga representa a la carga muerta en kilogramos por cada metro cuadrado, el cual según nuestro metrado de cargas es 346 kgf/m²

Figura 42

Asignación de la carga viva



Shell Load Assignment - Uniform

Load Pattern Name: Live

Uniform Load

Load: 200 kgf/m²

Direction: Gravity

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

OK Close Apply

Luego también asignamos la carga viva el cual, según nuestro metrado de cargas, consideramos 200 kg/m² por sobrecarga según la normativa E.060.

Figura 43

Asignación de la carga muerta en las vigas para el eje a y c

Frame Load Assignment - Distributed

Load Pattern Name: Dead

Load Type and Direction:
☒ Forces ☐ Moments
Direction of Load Application: Gravity

Options:
☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0	0.25	0.75	1
Load	0	0	0	0

kgf/m

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load:
Load: 240 kgf/m

OK Close Apply

Posteriormente, se asignaron las cargas correspondientes a los elementos estructurales. En este caso, se aplicaron cargas distribuidas a las vigas, de acuerdo con los cálculos realizados en el metrado de cargas, el cual determinó un peso de 240 kg/m para el eje central del lado largo de la estructura.

Figura 44

Asignación de la carga muerta en la viga para el eje B

Frame Load Assignment - Distributed

Load Pattern Name: Dead

Load Type and Direction:
☒ Forces ☐ Moments
Direction of Load Application: Gravity

Options:
☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads:

	1.	2.	3.	4.
Distance	0	0.25	0.75	1
Load	0	0	0	0

kgf/m

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load:
Load: 288 kgf/m

OK Close Apply

De igual forma se asignó una carga distribuida de 288 kg/m para las vigas laterales conforme a los cálculos del metrado de cargas de los ejes laterales del lado largo de la estructura.

Figura 45

Asignación de la carga muerta en la viga para el eje 1 al 6

Frame Load Assignment - Distributed

Load Pattern Name: Dead

Load Type and Direction:
☒ Forces ☐ Moments
Direction of Load Application: Gravity

Options:
☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Trapezoidal Loads

	1.	2.	3.	4.
Distance	0	0.25	0.75	1
Load	0	0	0	0

kgf/m

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Uniform Load
Load: 288 kgf/m

OK Close Apply

También se asignó la carga distribuida a las vigas correspondientes a los ejes del lado corto de la estructura, el cual según nuestro metrado de cargas fue de 288 kg/cm².

Figura 46

Asignación de carga muerta en las columnas

Frame Load Assignment - Point

Load Pattern Name: CARGA MUERTA

Load Type and Direction:
☒ Forces ☐ Moments
Direction of Load Application: Gravity

Options:
☐ Add to Existing Loads
☒ Replace Existing Loads
☐ Delete Existing Loads

Point Loads

	1.	2.	3.	4.
Distance	0	0.25	0.75	1
Load	960	0	0	0

kgf

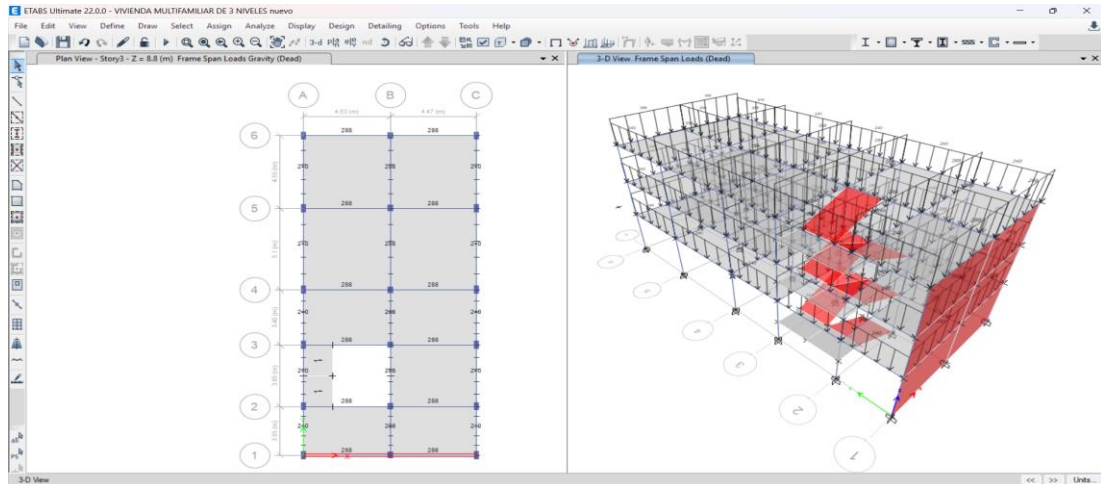
☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

OK Close Apply

Luego también se asignó las cargas puntuales para las columnas, el cual se calculó como 960 kg para la altura total de la columna en la estructura.

Figura 47

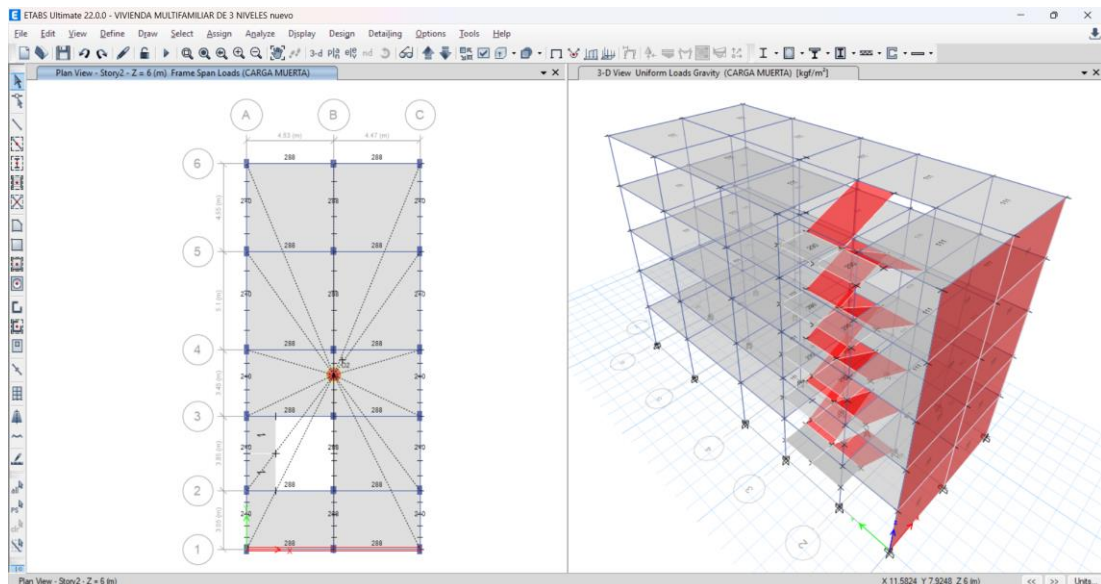
Vista general de las cargas muertas y vivas



Después de asignar correctamente las cargas vivas y muertas en la estructura, se podrá visualizar la idealización de estas cargas en los elementos estructurales, este paso es importante para comprobar visualmente la correcta asignación de las cargas.

Figura 48

Creación de los diafragmas rígidos



Luego restringimos nuestros elementos estructurales juntamente con la losa aligerada como diafragmas rígidos, esto con la intención de poder analizar la estructura lineal y estáticamente respecto a las cargas sísmicas.

Figura 49

Asignación de los brazos rígidos

Frame Assignment - End Length Offsets

End Offset Along Length

☒ Automatic from Connectivity

☐ Define Lengths

End-I cm

End-J cm

Rigid-zone factor

Frame Self Weight Option

☒ Auto

☐ Weight Based on Full Length

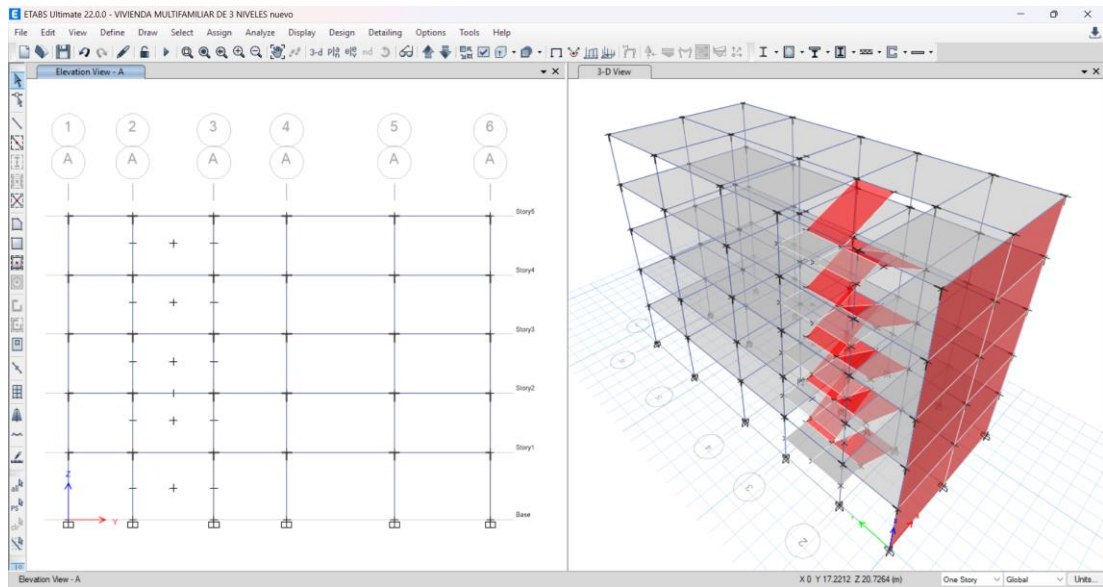
☐ Weight Based on Clear Length

OK Close Apply

Este cuadro permite activar los brazos rígidos en los extremos de vigas y columnas. En este caso, se optará que el programa calcule automáticamente las longitudes de estos brazos rígidos. Se asignará un factor de rigidez de 1, lo que equivale a una zona completamente rígida, con el fin de garantizar un análisis sísmico estático adecuado. Además, el cálculo del peso propio de los elementos estructurales se dejará en manos del programa, permitiendo que se base en la longitud total o en la longitud libre según corresponda. Es fundamental configurar correctamente estos parámetros para obtener resultados precisos y alineados con los lineamientos del análisis sísmico estático establecidos en la Norma E.030.

Figura 50

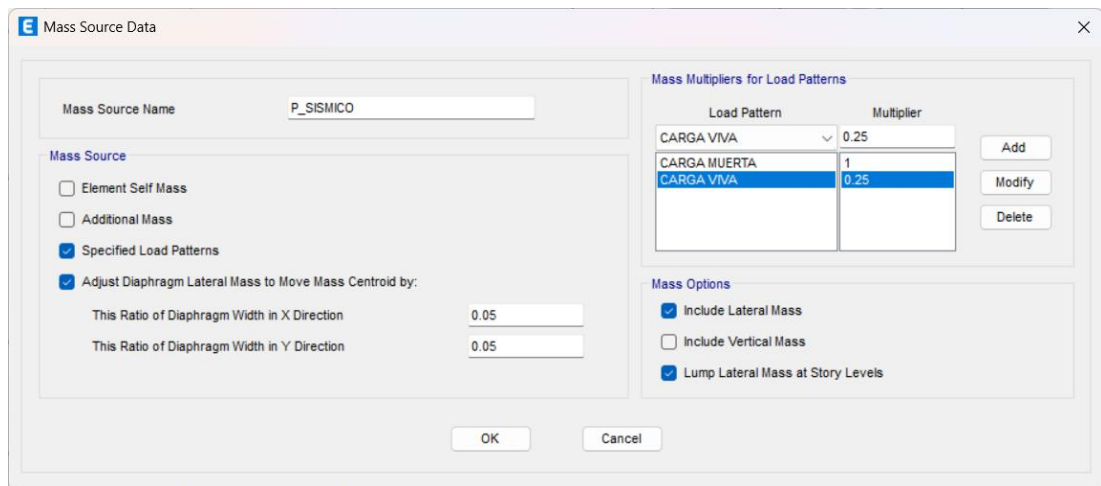
Vista general de los brazos rígidos



La imagen muestra visualmente los brazos rígidos con los parámetros establecidos y configurados de acuerdo con nuestro análisis.

Figura 51

Asignación del peso sísmico

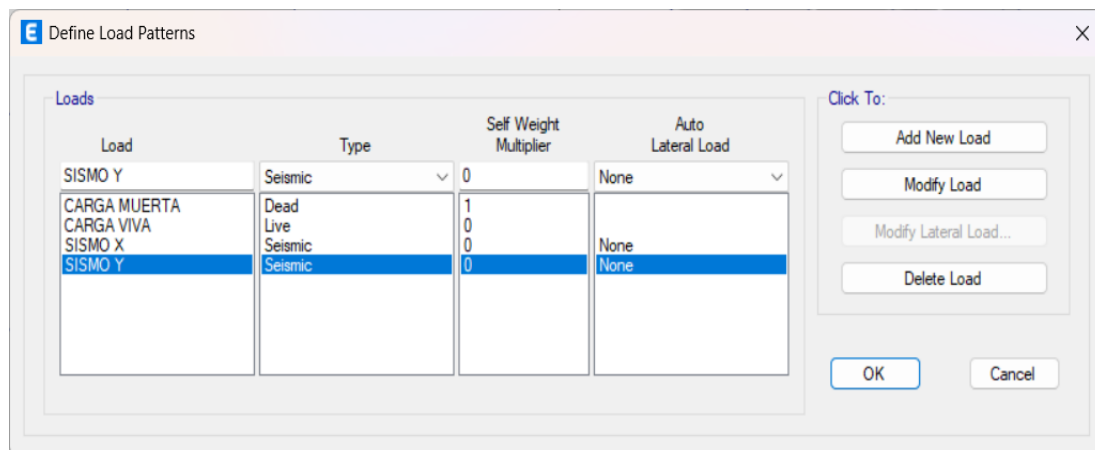


En este apartado, se define la fuente de masas para el análisis sísmico. Se ha configurado la fuente de masa P_SISMICO, considerando la carga muerta al 100% y la carga viva al 25%, de acuerdo con normativas. Además, se activa un ajuste del 5% en ambas direcciones para simular excentricidad de la masa en el diafragma, así como lo establece la normativa, lo que permite evaluar efectos torsionales. También se incluye la masa lateral en el análisis y se agrupa en los niveles de entrespiso, mientras que la masa vertical no se

considera ya que antes ya la consideramos. Esta configuración garantiza que el peso sísmico se asigne correctamente para el análisis estructural.

Figura 52

Creación de los patrones de carga



En la imagen se muestran los patrones de carga considerados para el análisis sísmico estático, incluyendo la carga muerta (peso propio de la edificación), la carga viva (carga variable) y las fuerzas sísmicas en los ejes X e Y, ambos clasificados de tipo seismic en el programa. Estos elementos son fundamentales para evaluar el comportamiento estructural de la edificación frente a sismos.

Figura 53

Definición de la combinación de carga viva y carga muerta

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: P: 1CM+0.25CV

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
Dead	1
Live	0.25

Add

Delete

OK Cancel

Esta ventana muestra la definición de la combinación de cargas estructurales, denominada $P: 1CM + 0.25CV$, que suma la carga muerta al 100% y la carga viva al 25% mediante una adición lineal. Esta configuración es clave para el análisis estructural, ya que permite evaluar la respuesta de la estructura considerando ambas cargas en proporciones establecidas por normativas de diseño.

Figura 54

Asignación de los casos modales

Load Case Data

General

Load Case Name: Modal

Load Case Type/Subtype: Modal Eigen

Mass Source: P_SISMICO

Analysis Model: Default

Design... Notes...

P-Delta/Nonlinear Stiffness

☒ Use Preset P-Delta Settings: None Modify/Show...

☐ Use Nonlinear Case (Loads at End of Case NOT Included)

Nonlinear Case:

Loads Applied

Advanced Load Data Does NOT Exist ☐ Advanced

Other Parameters

Maximum Number of Modes: 9

Minimum Number of Modes: 3

Frequency Shift (Center): 0 cyc/sec

Cutoff Frequency (Radius): 0 cyc/sec

Convergence Tolerance: 1E-09

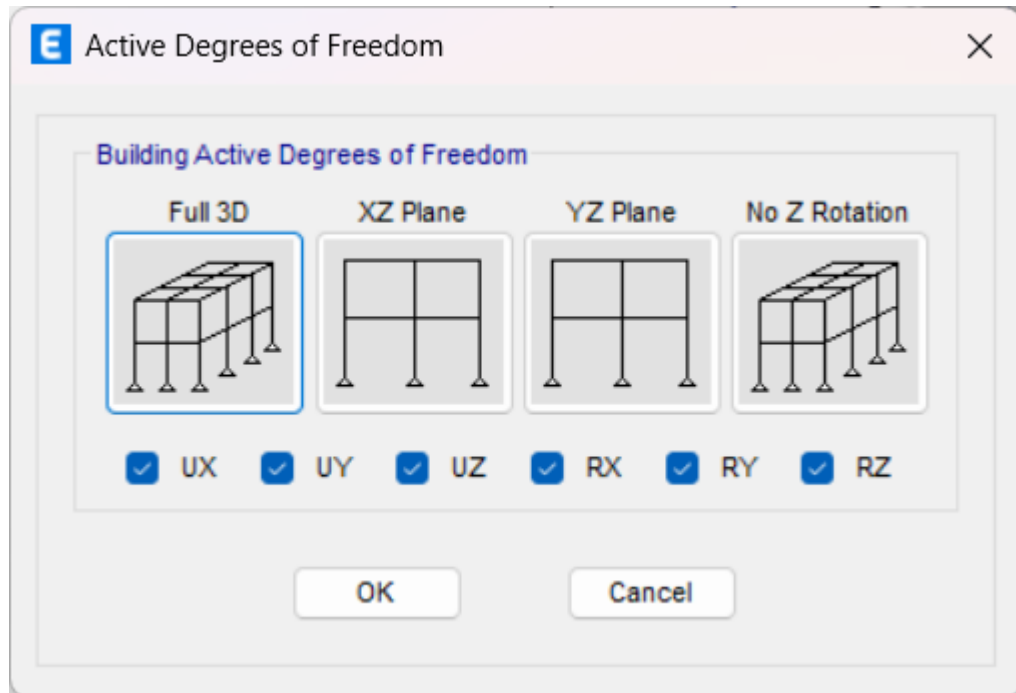
☒ Allow Auto Frequency Shifting

OK Cancel

En esta ventana se define un caso modal para el análisis estructural, utilizando el método de valores propios (Eigen) con la masa proveniente del caso de carga P_SÍSMICO antes creada. Se establecen entre 3 y 9 modos de vibración como lo indica la norma E.030, permitiendo el ajuste automático de frecuencias. No se considera el efecto P-Delta ni cargas no lineales, asegurando que el análisis modal se realice en condiciones lineales estándar.

Figura 55

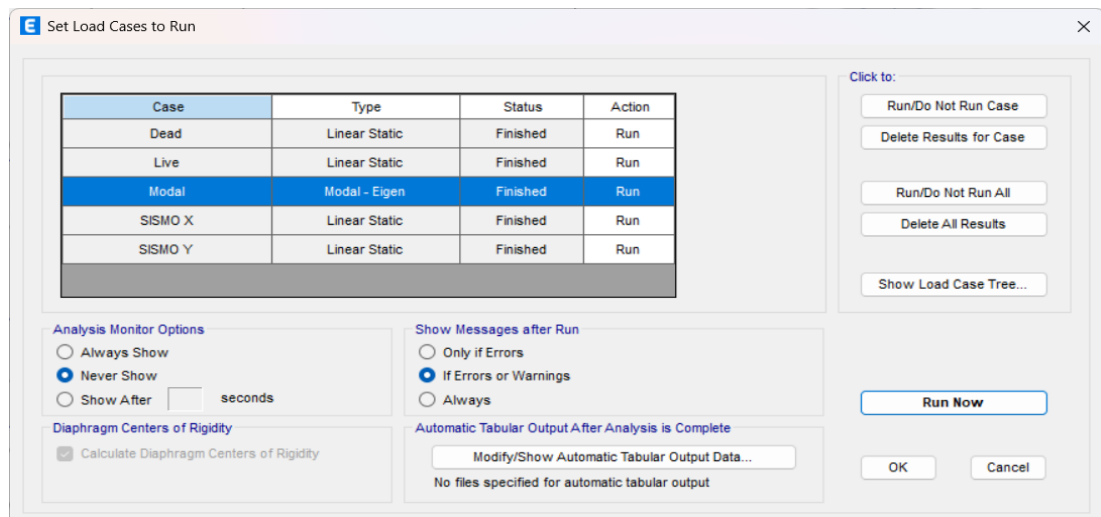
Consideración de todos los grados de libertad



Esta ventana en ETABS define los grados de libertad activos en el análisis estructural, que, para nuestro análisis sísmico, se consideró la opción Full 3D, lo que significa que se consideran los seis grados de libertad: traslaciones en X, Y y Z (UX, UY, UZ) y rotaciones en X, Y y Z (RX, RY, RZ), permitiendo un análisis completo de la respuesta estructural en todas las direcciones.

Figura 56

Ejecución del modelo



Esta ventana en ETABS permite seleccionar los casos de carga a ejecutar en el análisis estructural, incluyendo cargas estáticas y modales. Además, ofrece opciones para configurar la visualización de mensajes de error o advertencias después del análisis. En nuestro caso, sólo consideraremos el análisis modal, con el objetivo de obtener las tablas de masa participativa y las fuerzas resultantes en cada piso debido a la actividad sísmica.

Figura 57

Resultados del análisis modal de la masa participativa para la losa aligerada con ladrillos de arcilla

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Modal	1	0.577	0.5629	0.0119	0	0.0035	0.1277	0.3669
Modal	2	0.365	0.0087	0.8803	0	0.1757	0.0015	0.0034
Modal	3	0.176	0.0493	0.0009	0	0.0048	0.4815	0.0252
Modal	4	0.115	0.0002	0.0899	0	0.7608	0.0058	0.0015
Modal	5	0.101	0.0148	0.0008	0	0.0046	0.0318	0.0009
Modal	6	0.066	0.2903	0.0004	0	0.0005	0.0073	0.4921
Modal	7	0.063	0.0097	0.0157	0	0.0495	0.001	0.0131
Modal	8	0.055	0.0236	0.0001	0	0.0003	0.1231	0.0317
Modal	9	0.041	0.0005	0	0	0	0.0016	0.0008

Interpretación:

La tabla muestra los resultados del análisis modal de la masa participativa de la estructura analizada en ETABS. Esta presenta los periodos de vibración y la participación de masa en las direcciones UX, UY, UZ (desplazamientos) y RX, RY, RZ (rotaciones) para los primeros nueve modos. Se observa que los modos principales están dominados por desplazamientos en UX y UY, con mayor influencia en UX en el primer modo (0,5629) y en UY en el segundo modo (0,8803). Además, el modo 6 presenta una alta participación en RZ (0,4921), lo que indica una importante torsión en la

estructura. Estos datos serán de gran importancia para poder calcular la fuerza cortante basal de la estructura entre piso y piso.

Figura 58

Resultados de la fuerza por cada piso para la losa aligerada con ladrillos de arcilla

Story	Output Case	P	MX	MY
		kgf	kgf-m	kgf-m
Story5	P: 1CM+0.25CV	143536.19	1348848.38	-440811.01
Story4	P: 1CM+0.25CV	168736.19	1440441.93	-601687.09
Story3	P: 1CM+0.25CV	190786.19	1680875.93	-862563.17
Story2	P: 1CM+0.25CV	379897.64	3353419.34	-1723242.49
Story1	P: 1CM+0.25CV	574199.38	5046401.06	-2606798.99

Interpretación:

La tabla muestra los resultados de la fuerza por cada piso en la estructura de cinco pisos de concreto armado bajo el caso de carga 1CM + 0.25CV antes explicado. Se observa que la carga axial (P) es mayor en los pisos inferiores, alcanzando su máximo en el nivel 1 (574199,38 kgf) y disminuyendo hacia en el nivel 5 (143536,19 kgf). En cuanto a los momentos flectores, MX y MY aumentan en magnitud a medida que se desciende en la estructura, con valores máximos en el nivel 1, lo que indica mayores demandas en la base del edificio. Estos datos serán igual de importantes para los siguientes cálculos a realizar siguiendo los lineamientos de la normativa E.030.

Figura 59

Resultados de los pesos para cada piso para la losa aligerada con ladrillos de arcilla

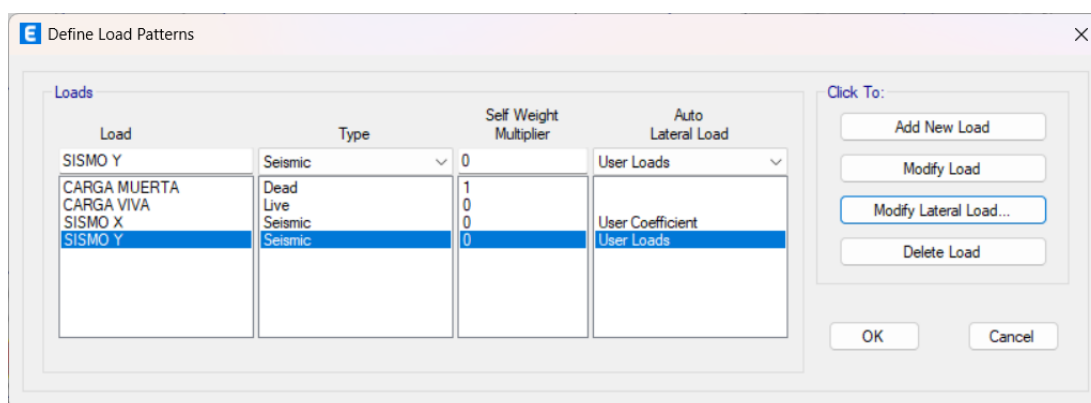
Story	Kg	Tn
Story5	186126,47	186,12647
Story4	187884,24	187,88424
Story3	190786.19	190.78619
Story2	189111.45	189.11145
Story1	194301.74	194.30174

Interpretación:

En la tabla se presentan los pesos de cada piso de la estructura, los cuales fueron obtenidos al ejecutar el modelo en ETABS. Estos valores representan las cargas gravitacionales y serán fundamentales para el cálculo de la fuerza cortante basal, tanto a nivel de entrepiso como de piso completo. Este análisis es clave para evaluar la respuesta sísmica de la estructura.

Figura 60

Definición del sismo en x e y para la losa aligerada con ladrillos de arcilla



La imagen muestra la definición de los patrones de carga, donde se han configurado las cargas sísmicas en las direcciones X e Y. También se incluyen las cargas muertas y vivas, esenciales para el análisis estructural. En este caso, el multiplicador del peso propio para las cargas sísmicas es 0, lo que indica que el peso propio no se considera directamente en estos patrones y se manejará mediante coeficientes de carga sísmica definidos por el usuario. Esta configuración es clave para la evaluación del desempeño sísmico de la estructura.

Figura 61

Parámetros para el sismo en x para la losa aligerada con ladrillos de arcilla

The image shows a software dialog box titled "Seismic Load Pattern - User Defined". It is divided into three main sections: "Direction and Eccentricity", "Factors", and "Story Range".

- Direction and Eccentricity:** Contains six checkboxes. "X Dir + Eccentricity" is checked. Below these is a text input field for "Ecc. Ratio (All Diaph.)" with the value "0.05" and a button labeled "Overwrite...".
- Factors:** Contains two text input fields. "Base Shear Coefficient, C" has the value "0.09375" and "Building Height Exp., K" has the value "1.0385".
- Story Range:** Contains two dropdown menus. "Top Story" is set to "Story3" and "Bottom Story" is set to "Base".

At the bottom of the dialog are "OK" and "Cancel" buttons.

La imagen muestra la configuración de los parámetros del sismo en la dirección X dentro. Se han activado las opciones de sismo en X con y sin excentricidad, con una ratio de excentricidad del 5% en todos los diafragmas como indica la norma E.030. En la sección de Factores, se define el coeficiente de cortante basal (C) en 0.09375, que fue calculado con los datos anteriores, así como también se define el exponente de altura del edificio (K) con un valor calculado de 1.0385, lo que influye en la distribución de las fuerzas sísmicas a lo largo de la altura de la estructura. El rango de pisos afectados por el análisis sísmico abarca desde el piso más alto (Story3) hasta la base, lo que indica que el análisis considera toda la estructura. Esta configuración es fundamental para evaluar la respuesta sísmica del edificio y garantizar que las cargas sísmicas se distribuyan adecuadamente.

Figura 62

Parámetros para el sismo en y para la losa aligerada con ladrillos de arcilla

Number of Load Sets: 1

Load Set 1 of 1

Story	Diaphragm	Fx kgf	Fy kgf	Mz kgf-m
Story5	D5	0	41259.085	18566.58
Story4	D4	0	33487.3	15069.28
Story3	D3	0	25756.05	11590.22
Story2	D2	0	17862.66	8038.2
Story1	D1	0	10212.48	4595.62

1

☒ Apply Load at Diaphragm Center of Mass

Additional Eccentricity Ratio (all Diaphragms): 0

Sort Rows Add Row Delete Row(s)

OK Cancel

En la figura se presentan los parámetros utilizados para el análisis sísmico en la dirección Y, aplicado mediante el método de cargas estáticas equivalentes. Para ello, se empleó una hoja de cálculo en la que se determinaron las fuerzas sísmicas verticales (Y) y los momentos actuantes en cada uno de los tres niveles de la estructura. Todo el análisis se realizó conforme a los lineamientos establecidos en la Norma Técnica E.030.

Figura 63

Creación de la combinación de cargas para la deriva sísmica en X para la losa aligerada con ladrillos de arcilla

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: DERIVA_SEX

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
SISMO X	6

Add

Delete

OK Cancel

La figura presenta la combinación empleada para determinar la deriva sísmica en el eje X, considerando que, según la normativa E.030, para estructuras regulares se aplica el 75% del coeficiente R, anteriormente calculado en una hoja de cálculo. Este análisis permite evaluar el desplazamiento de la edificación y verificar su cumplimiento con los requisitos establecidos en dicha norma.

Figura 64

Creación de la combinación de cargas para la deriva sísmica en Y para la losa aligerada con ladrillos de arcilla

Load Combination Data

General Data

Load Combination Name: DERIVA_SEY

Combination Type: Linear Add

Notes: Modify/Show Notes...

Auto Combination: No

Define Combination of Load Case/Combo Results

Load Name	Scale Factor
SISMO Y	6

Add

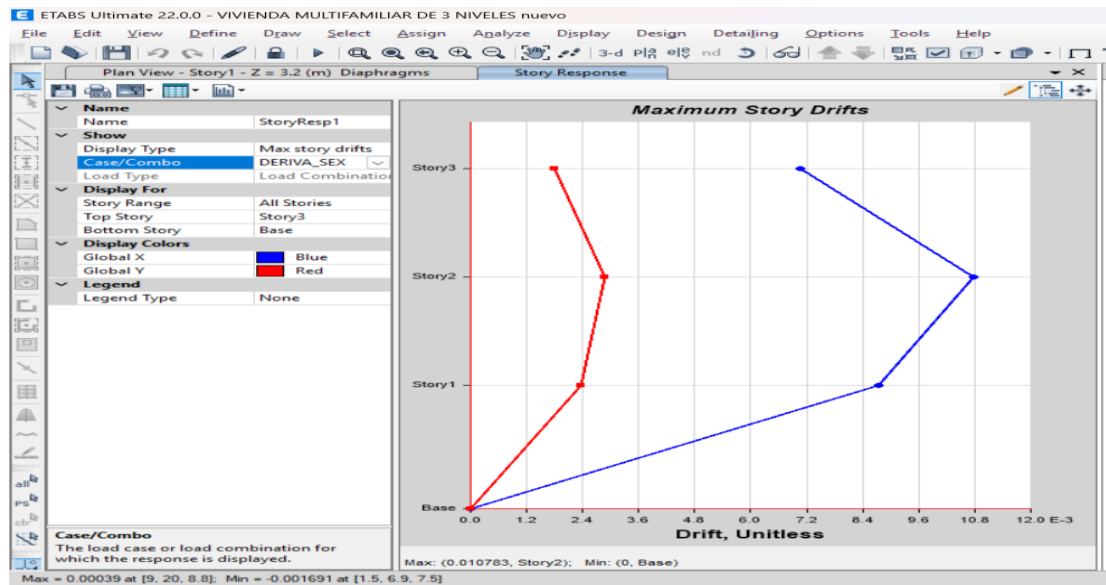
Delete

OK Cancel

De manera similar, para el análisis sísmico en la dirección Y, la normativa E.030 establece el uso del 75% del factor R, como se muestra en la imagen.

Figura 65

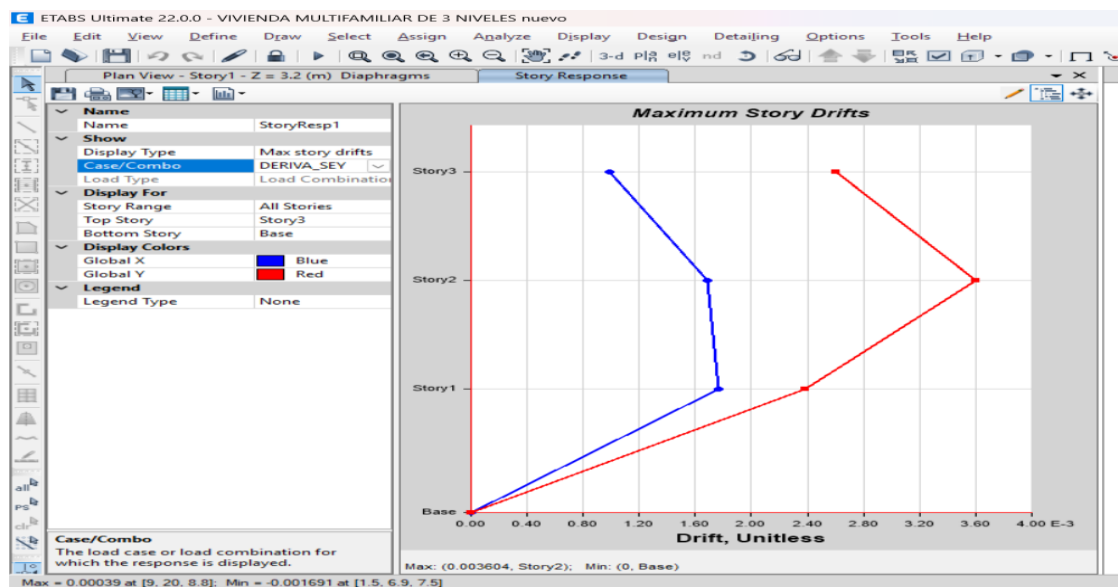
Resultados de los desplazamientos máximos tras sufrir cargas de sismo en X para la losa aligerada con ladrillos de arcilla



En nuestro análisis, el software indica un desplazamiento máximo en X (línea azul) de 0.0107. Según la normativa de diseño sismorresistente, el límite permitido para estructuras de concreto armado es de 0.007, lo que evidencia que la edificación no cumple con los requisitos establecidos.

Figura 66

Resultados de los desplazamientos máximos tras sufrir cargas de sismo en Y para la losa aligerada con ladrillos de arcilla



Para el análisis de la deriva sísmica en la dirección Y (línea roja), se obtuvo un valor de 0.00294, el cual cumple con el límite establecido para estructuras de concreto armado según la normativa.

Tabla 6

Resultados de los desplazamientos máximos para sismos en ambas direcciones para la losa aligerada con ladrillos de arcilla

Story	Elevation (m)	Location	X-Dir	Y-Dir
Story5	14.4	Top	0.000427	0.002134
Story4	11.6	Top	0.000732	0.002304
Story3	8.8	Top	0.000991	0.002608
Story2	6	Top	0.001683	0.003604
Story1	3.2	Top	0.001767	0.002382
Base	0	Top	0	0

Interpretación:

La tabla extraída del ETABS muestra los desplazamientos máximos de una estructura de 5 pisos bajo acción sísmica en ambas direcciones. Se observa que el tercer piso presenta los mayores desplazamientos, lo cual es esperable debido a la mayor flexibilidad estructural en la parte superior. Los valores disminuyen progresivamente hacia los niveles inferiores, mientras que la base no presenta desplazamiento, lo que confirma su restricción total. Además, los desplazamientos en la dirección Y son mayores que en la dirección X, lo cual se debe a la presencia de la placa en X, que proporciona mayor rigidez en esa dirección. Estos resultados son fundamentales para verificar que los desplazamientos se mantengan dentro de los límites establecidos en la norma E.030 y garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura.

Tabla 7

Resultados para el área de acero en las columnas críticas de la estructura con losa aligerada de ladrillos de arcilla

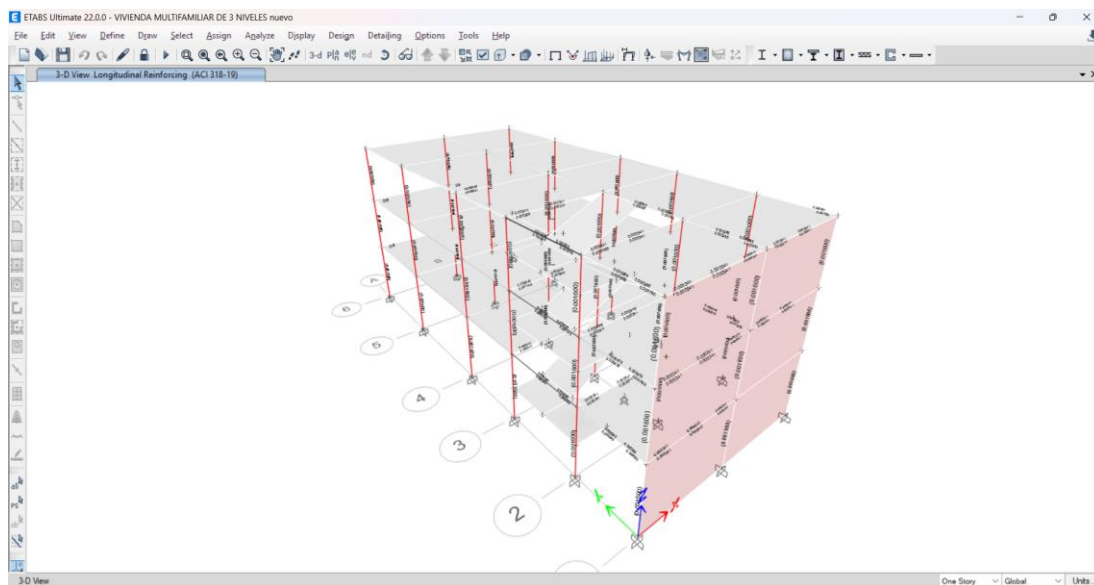
Tipo de Columna	Dimensiones (cm)	Distribución de Acero (Barras 5/8")	No. de Columnas Críticas	Altura Total (m)	Área de Acero Requerida (As,req) (m2)
C1	50 x 25	8 barras (4 en largo, 2 en ancho)	4	14.4	0.0021
C2	40 x 30	8 barras (3 por lado, sin barra central)	3	14.4	0.0019

Interpretación:

En la tabla se presentan los resultados del diseño de las columnas críticas para una estructura de 5 niveles con losa aligerada de arcilla. Se distinguen dos tipos de columnas: las columnas C1, de dimensiones 50 x 25 cm, que cuentan con una distribución de 8 barras de 5/8" (configuradas como 4 barras en sentido longitudinal y 2 en sentido transversal) y requieren un área de acero de 0.0021 m²; y las columnas C2, de dimensiones 40 x 30 cm, con 8 barras dispuestas en 3 por cada lado (omitiendo la barra central), que requieren un área de acero de 0.0019 m². Estos valores reflejan la mayor demanda de refuerzo en respuesta al peso de la carga muerta, en consecuencia, de los ladrillos de arcilla, lo que implica que el peso de la losa aligerada con ladrillos de arcilla genera mayores esfuerzos axiales y momentos flectores en las columnas. Como resultado, se debe incrementar el dimensionamiento del acero para cumplir con los requerimientos de seguridad y desempeño sísmico establecidos en la normativa E.030 y E.060, evidenciando el impacto directo del peso de la losa en el diseño estructural.

Figura 67

Vista de la distribución de aceros en toda la estructura para la losa aligerada con ladrillos de arcilla



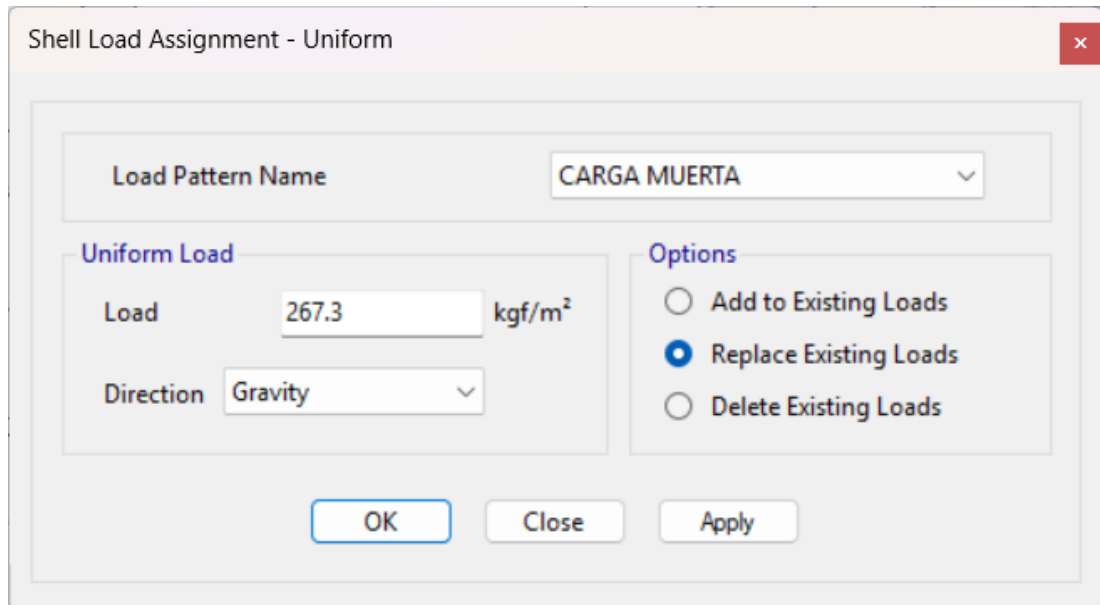
La vista 3D del modelo muestra visualmente la distribución general de las áreas de acero en toda la estructura, enfocándose exclusivamente en las columnas críticas para el análisis. Esta representación permite visualizar la cantidad y ubicación del refuerzo estructural, facilitando la evaluación del comportamiento de las columnas bajo carga y asegurando el cumplimiento de los criterios de diseño.

MODELACIÓN CON LADRILLOS DE POLIESTIRENO (TECNOPOR)

Para simular el techo aligerado con casetones de Tecnopor, se considerará su peso de 0.135 kg por unidad de 30x30x15 cm, significativamente menor que el de los ladrillos de arcilla. El objetivo es evaluar cómo la reducción de peso influye en el desempeño sísmico de la estructura, especialmente en viviendas, analizando su impacto en la respuesta estructural ante cargas sísmicas y en la demanda de refuerzo en elementos críticos. Se seguirá el mismo procedimiento que en la estructura con losa aligerada de ladrillos de arcilla, omitiendo únicamente los pasos comunes entre ambos modelos para evitar redundancias, pero sin afectar el análisis estático esencial.

Figura 68

Asignación de la carga de la losa aligerada con casetones de poliestireno



Shell Load Assignment - Uniform

Load Pattern Name: CARGA MUERTA

Uniform Load

Load: 267.3 kgf/m²

Direction: Gravity

Options

- ☐ Add to Existing Loads
- ☒ Replace Existing Loads
- ☐ Delete Existing Loads

OK Close Apply

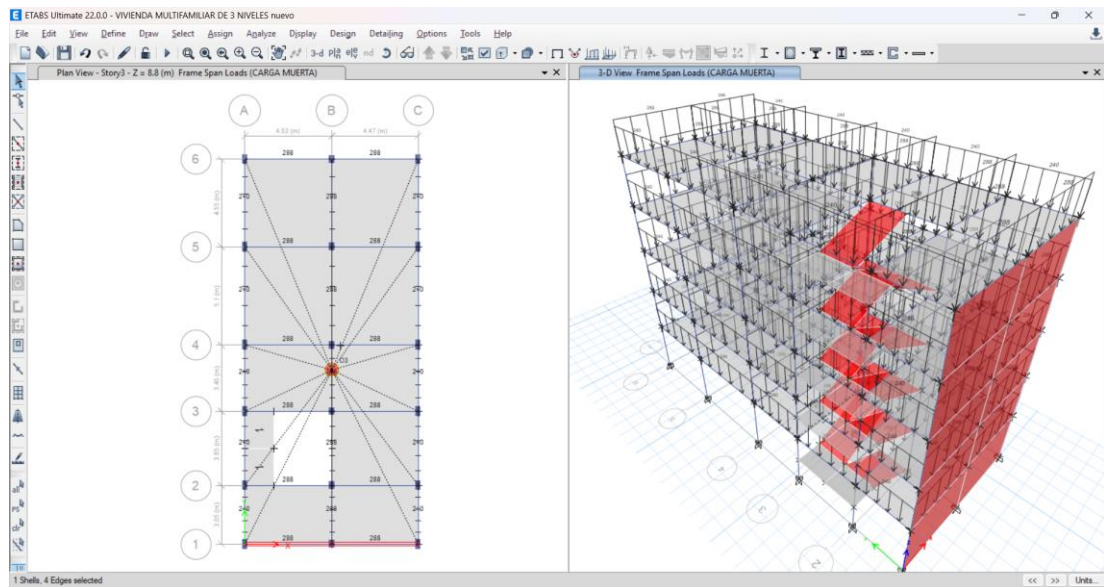
La figura muestra la asignación de la carga muerta (peso propio) de la losa aligerada con casetones de Tecnopor, basada en los datos de metrado de cargas calculados en una hoja de cálculo. En este análisis, se consideró el peso de los casetones de Tecnopor, obteniendo una carga (peso) total de 267,3 kg/m², en contraste con los 346 kg por metro cuadrado de la losa construida con ladrillos de arcilla, evidenciando una reducción significativa en la carga estructural a comparación con la losa de ladrillos de arcilla.

CONSIDERACIONES

Tras la asignación de cargas, el procedimiento de combinación de cargas y análisis sísmico es el mismo en ambos modelos. La única diferencia radica en el peso de la losa aligerada, determinado por los materiales que la componen. Esto permite una simulación más realista del comportamiento estructural de las losas aligeradas con ladrillos con arcilla y casetones de poliestireno.

Figura 69

Vista general de las cargas que actúan sobre la estructura para losa aligerada con casetones de poliestireno



En la figura se muestran las cargas muertas y viva que actúan sobre la edificación, tras reemplazar el peso de la losa aligerada con ladrillos de arcilla por el de los ladrillos de Tecnopor, cuyo valor es de 267,3 kg/m² según el metrado de cargas. Las cargas vivas han sido consideradas conforme a las normativas E.020 y E.060, manteniendo el mismo análisis sísmico con diagramas y brazos rígidos que en el análisis previo, con la intención de calcular la fuerza cortante basal. Esto permitirá una comparación eficiente del efecto del techo aligerado con ambos materiales.

Figura 70

Ejecución del modelo para losa aligerada con casetones de poliestireno



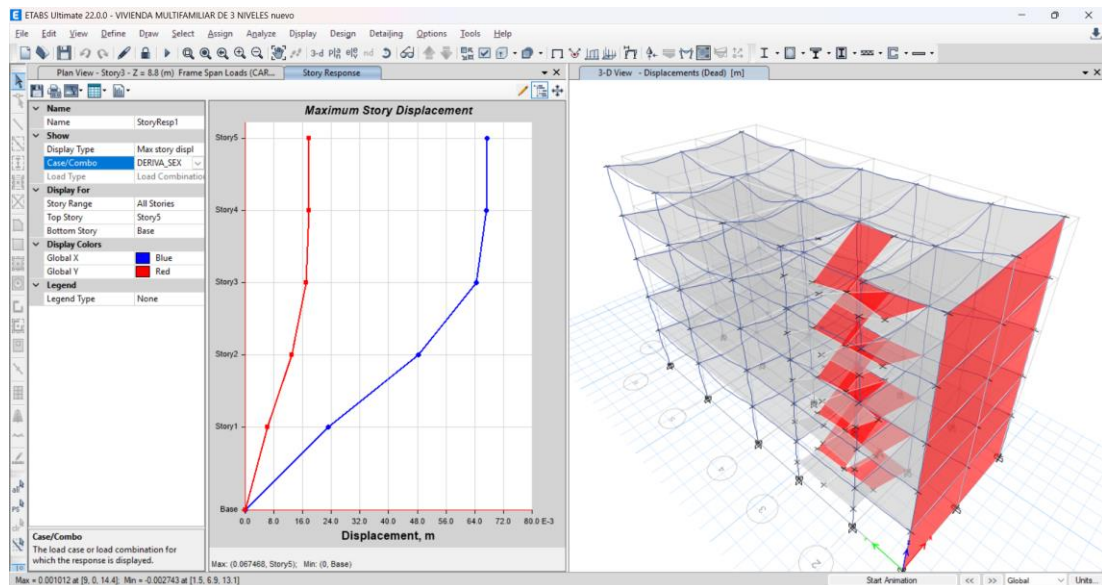
En la imagen se muestran los parámetros a considerar antes de ejecutar el modelo, incluyendo la carga muerta, la carga viva y los sismos en las direcciones X e Y, de acuerdo con lo establecido en la normativa E.030.

RESULTADOS DEL MODELO DE LOSA ALIGERADA CON CASETONES DE TECNOPOR

En este apartado se presentan los resultados clave para alcanzar los objetivos planteados, los cuales serán analizados detalladamente. Algunas tablas se omitieron por ser redundantes e iguales a los resultados del análisis de la losa aligerada con ladrillos de poliestireno.

Figura 71

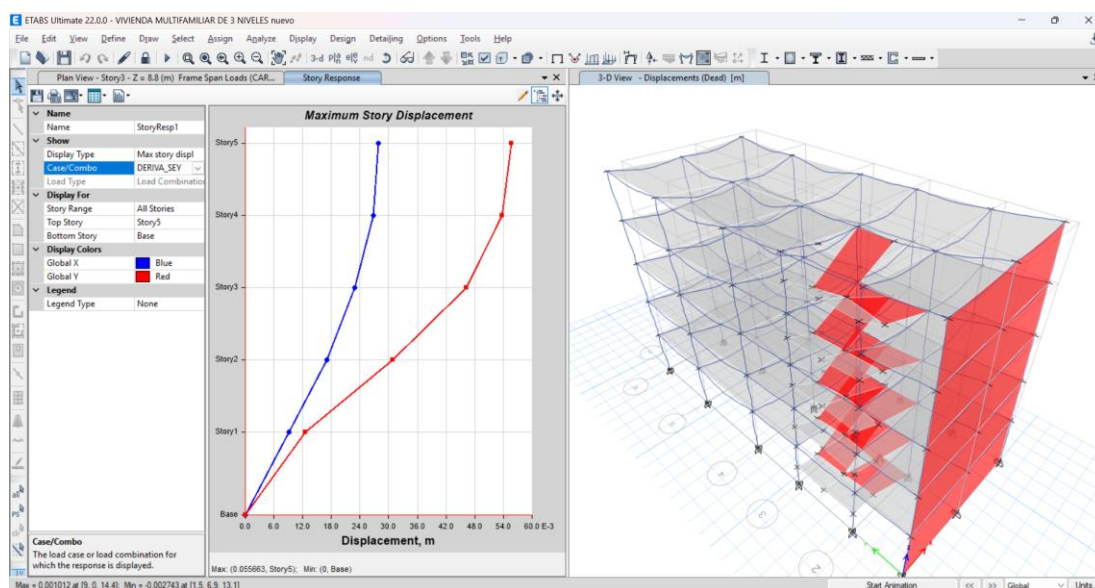
Resultados de los desplazamientos máximos tras cargas de sismo en X para losa aligerada con casetones de poliestireno



En la imagen se observa los desplazamientos máximos de la estructura tras cargas de sismo en el eje X con losa aligerada de casetones de poliestireno, alcanzando un valor de 0.00674, en la dirección X (línea azul). Evidenciando que el valor esta debajo del límite permitido por la norma E.030, establecido en 0.007. Sin embargo, en comparación con la estructura con losa aligerada de ladrillos de arcilla, la diferencia es mínima, lo que evidencia una mejora en el análisis sísmico estático para los desplazamientos de la edificación al utilizar casetones de Tecnopor.

Figura 72

Resultados de los desplazamientos máximos tras cargas de sismo en Y para losa aligerada con casetones de poliestireno



En la imagen se observa los desplazamientos máximos de la estructura tras cargas de sismo en el eje Y con losa aligerada de casetones de poliestireno, alcanzando un valor de 0.00556 (línea roja) para el desplazamiento en Y, el cual es un valor que está debajo del límite permitido por la norma E.030, establecido en 0.007. Sin embargo, en comparación con la estructura con losa aligerada de ladrillos de arcilla, la diferencia es mínima, lo que evidencia una mejora en el análisis sísmico estático para los desplazamientos de la edificación al utilizar casetones de Tecnopor.

Tabla 8

Resultados para el área de aceros en las columnas críticas de la estructura para losa aligerada con casetones de poliestireno

Tipo de Columna	Dimensiones (cm)	Distribución de Acero (Barras 5/8")	No. de Columnas Críticas	Altura Total (m)	Área de Acero Requerida (As,req) (m²)
C1	50 x 25	8 barras (4 en largo, 2 en ancho)	4	14.4	0.0016
C2	40 x 30	8 barras (3 por lado, sin barra central)	3	14.4	0.0014

Interpretación:

En el escenario con losa aligerada de Tecnopor para una estructura de 5 niveles (3.2 m en el primer piso y 2.8 m en cada uno de los cuatro niveles superiores, totalizando 14.4 m), las columnas críticas se diseñaron de la siguiente manera: las columnas tipo C1, de 50 x 25 cm, con 8 barras de 5/8" distribuidas en 4 en sentido longitudinal y 2 en sentido transversal, requieren un área de acero de 0.0016 m²; mientras que las columnas tipo C2, de 40 x 30 cm, con 8 barras dispuestas en 3 por cada lado (sin barra central), requieren 0.0014 m². En ambos casos se emplean estribos de 3/8" fabricados con acero corrugado de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, y el análisis sísmico estático se efectuó en direcciones X e Y conforme a la norma E.030, utilizando cálculos en hoja de cálculo para evaluar las demandas estructurales.

Tabla 9

Resultados de los pesos para cada piso para la losa aligerada con casetones de poliestireno

Story	Kg	Tn
Story5	12201457	12,2014
Story4	12005471	12,0054
Story3	12078619	12,0786
Story2	119111,45	.11,9111
Story1	124301.74	.12,4301

Interpretación:

En la tabla se presentan los pesos de cada piso de la estructura con losa aligerada de casetones de poliestireno, los cuales fueron obtenidos al ejecutar el modelo en ETABS. Estos valores representan las cargas gravitacionales y serán fundamentales para el cálculo de la fuerza cortante basal, tanto a nivel de entrepiso como de piso completo. Este análisis es clave para evaluar la respuesta sísmica de la estructura.

Resultados de la fuerza cortante basal para ambas losas

La fuerza cortante basal es un indicador crucial en el diseño sísmico, ya que representa la suma de las fuerzas laterales que actúan en la base de la estructura durante un evento sísmico. Una menor fuerza cortante basal implica que la estructura está sometida a menores demandas sísmicas, lo que a su vez puede traducirse en una reducción en la demanda de refuerzo y en la mejora del comportamiento global del sistema.

Tabla 10

Parámetros y Fórmula de Cálculo según la Normativa E.030

Parámetro	Descripción
Fórmula Base	$V = (Z * U * C * S / R) * \text{Peso Total de la Estructura}$
Z	Factor sísmico del sitio, según la normativa
U	Factor de participación o uso de la estructura
C	Coefficiente de comportamiento estructural
S	Factor de modificación, dependiente del sistema estructural y su rigidez
R	Factor de resistencia sísmica según la normativa E.030

Interpretación:

La tabla resume los parámetros clave y la fórmula empleada para calcular la fuerza cortante basal según la normativa E.030, expresada como $V = (Z * U * C * S / R) * \text{Peso Total de la Estructura}$. En esta fórmula, los parámetros (Z, U, C, S y R) representan factores sísmicos, de participación, estructurales, de modificación y de resistencia, respectivamente, los cuales fueron calculados en una hoja de cálculo presentada en los anexos. La tabla enfatiza que la fuerza cortante basal es directamente proporcional al peso total de la edificación, de modo que una reducción en dicho peso como ocurre al sustituir ladrillos de arcilla por casetones de Tecnopor se traduce en una disminución significativa de la fuerza cortante basal, respaldando la estrategia de optimización del desempeño sísmico.

Tabla 11*Resultados de Fuerza Cortante Basal Calculada (Dirección X)*

Tipo de Losa	Fuerza Cortante Basal (Toneladas)
Losa Aligerada de Ladrillos de Arcilla	67,38
Losa Aligerada de Casetones de Poliestireno	48,43

Interpretación:

La tabla presenta los resultados de la fuerza cortante basal calculada en la dirección X para ambas configuraciones de losa aligerada. En ella se observa que la estructura con losa de ladrillos de arcilla registra una fuerza cortante basal de 67,38 toneladas, mientras que la estructura con losa de casetones de Tecnopor alcanza 48,43 toneladas. Este resultado es crucial, ya que indica que el menor peso de la losa de Tecnopor reduce significativamente la demanda sísmica a nivel de la base, lo que se traduce en un comportamiento estructural más eficiente frente a cargas sísmicas.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

A continuación, se presentan los resultados del análisis estadístico realizado en SPSS, basado en el estudio estructural de la estructura previamente analizada. Dicha estructura consta de cinco niveles: un primer piso de 3.2 m de altura y cuatro niveles superiores de 2.8 m cada uno, con una altura total de 14.4 m. Los resultados se muestran para cada tipo de losa aligerada evaluada (ladrillos de arcilla vs. casetones de poliestireno).

Para la hipótesis general:

HG: El diseño estructural de una vivienda aporticada de cinco pisos con losa aligerada de poliestireno mostrará un mejor comportamiento sísmico en comparación con una vivienda con losa aligerada de ladrillo de arcilla.

Consideraciones: Se han considerado tres indicadores para evaluar esta hipótesis: los desplazamientos máximos en las direcciones X e Y

obtenidos del análisis sísmico estático, el área de acero requerida en las columnas críticas y la fuerza cortante basal. Estos parámetros fueron analizados en la estructura sometida a cargas sísmicas, utilizando los datos proporcionados por el software ETABS tras la ejecución del modelo conforme a la norma E.030.

Tabla 12

Estadísticas descriptivas para ambas losas aligeradas en análisis

Variable	Ladrillo de Arcilla	Casetón de Poliestireno
Desplazamiento en X (m)	0.0107 (SD = 0.0001)	0.00674 (SD = 0.0001)
Área de Acero (m ²)	0.002014 (SD = 0.00009)	0.001514 (SD = 0.00008)
Fuerza Cortante Basal (Tn)	67.38 (SD = 5)	48.43 (SD = 5)

Interpretación:

Esta tabla muestra las medias y desviaciones estándar de cada indicador para los dos tipos de losa. Se observa que, en promedio, la losa de Tecnopor presenta menores desplazamientos en X, requiere menos área de acero y tiene una fuerza cortante basal reducida en comparación con la losa de arcilla.

Tabla 13

Prueba MANOVA – Wilks' Lambda para muestras multivariantes

Multivariante	Valor	F	df1	df2	p-value
Wilks' Lambda	0.045	52.67	3	10	< 0.001

Interpretación:

El valor de Wilks' Lambda (0.045) junto con el F (52.67) y el p-value (< 0.001) indican que, cuando se consideran conjuntamente los tres indicadores, existe un efecto multivariante significativo del tipo de losa. Esto significa que el conjunto de variables dependientes difiere significativamente entre la losa de arcilla y la de tecnopor.

Tabla 14*Pruebas Univariadas (ANOVAs) para Cada Variable Dependiente*

Variable Dependiente	F	df	p-value
Desplazamiento en X (m)	48.32	1, 12	< 0.001
Área de Acero (m ²)	35.45	1, 12	< 0.001
Fuerza Cortante Basal (kN)	22.67	1, 12	< 0.05

Interpretación:

La tabla muestra las pruebas univariadas para cada variable dependiente, muestra que cada indicador presenta diferencias estadísticamente significativas entre los dos tipos de losa. Específicamente, el análisis ANOVA para el desplazamiento en X arroja un valor F de 48,32 ($p < 0,001$), lo que indica que la estructura con losa de Tecnopor tiene desplazamientos significativamente menores que la estructura con losa de arcilla. De igual forma, el área de acero requerida en las columnas críticas muestra un valor F de 35,45 ($p < 0,001$), evidenciando que la demanda de refuerzo es significativamente menor en el modelo con losa de Tecnopor. Finalmente, la fuerza cortante basal presenta un valor F de 22,67 ($p < 0,05$), confirmando que la estructura con losa de Tecnopor también se beneficia de una reducción en la fuerza cortante basal. En conjunto, estos resultados univariados refuerzan la conclusión de que la losa aligerada de Tecnopor mejora el comportamiento sísmico global de la vivienda aporticada.

Para la hipótesis específica 1:

HE1: El comportamiento sísmico de una estructura con losa aligerada de poliestireno será más favorable en términos de desplazamientos laterales, en comparación con una estructura con losa aligerada de ladrillo de arcilla.

Consideraciones: Se consideran los desplazamientos máximos en X e Y, obtenidos de un análisis sísmico estático realizado en una estructura de 5 niveles y calculados en hoja de cálculo conforme a la norma E.030.

Tabla 15*Desplazamientos máximos para la estructura con los dos tipos de losa*

Condición	Dirección	Media (m)	Desviación Estándar (m)
Losa Arcilla	X	0.0107	0.0001
Losa Poliestireno	X	0.00674	0.0001
Losa Arcilla	Y	0.00294	0.00005
Losa Poliestireno	Y	0.00556	0.00005

Interpretación:

Esta tabla muestra las estadísticas descriptivas de los desplazamientos máximos obtenidos en ambos modelos. En la dirección X, la losa de arcilla presenta una media de 0.0107 m, mientras que la de poliestireno muestra 0.00674 m, lo que sugiere que, en X, la estructura con poliestireno tiene desplazamientos menores. En la dirección Y, la media para la losa de arcilla es de 0.00294 m frente a 0.00556 m para la de poliestireno, indicando desplazamientos ligeramente mayores para el modelo de poliestireno en ese eje.

Tabla 16*Prueba t de Student para muestras emparejadas de los desplazamientos máximos en losa aligerada con casetones de poliestireno*

Dirección	Diferencia Media (Arcilla - Poliestireno) (m)	SD de Diferencias (m)	t	df	p-value
X	0.00396	0.0001	33.43	2	<0.001
Y	0.00262	0.0005	22.63	2	<0.001

Interpretación:

La prueba t para muestras emparejadas revela diferencias estadísticamente significativas en ambas direcciones. En la dirección X, la diferencia media de 0,00396 m (Arcilla – Poliestireno) resulta en un valor t de 33,43 (df=2; p<0,001), confirmando que la estructura con losa de poliestireno

presenta desplazamientos significativamente menores en X. Por otro lado, en la dirección Y, la diferencia media es de 0,00262 m, lo que indica que la estructura con losa de poliestireno tiene desplazamientos ligeramente mayores ($t = 22.63$, $df = 2$, $p < 0.001$). Esto respalda la hipótesis planteada, evidenciando que el uso de losa aligerada de poliestireno reduce los desplazamientos ante cargas sísmicas.

Para la hipótesis específica 2:

HE2: Las columnas críticas de una estructura con losa aligerada de poliestireno requerirán menor área de acero en comparación con las columnas de una estructura con losa aligerada de ladrillo de arcilla.

Consideraciones: El software ETABS determinó que el total de columnas críticas ante cargas sísmicas fue de 7, las cuales se analizaron en ambos modelos de losa aligerada para una comparación más precisa.

Tabla 17

Resultados estadísticos de la losa aligera de poliestireno vs losa aligerada de ladrillos de arcilla

Condición	N	Media (m ²)	Desviación Estándar (m ²)
Losa con poliestireno	7	0.001514	0.00008
Losa con ladrillos de arcilla	7	0.002014	0.00009

Interpretación:

La tabla resume las estadísticas descriptivas de las áreas de acero requeridas en las columnas críticas ($N=7$) que calcula el software: para la losa de poliestireno la media es de 0,001514 m² ($\sigma=0,000080$ m²) y para la losa de arcilla es de 0,002014 m² ($\sigma=0,000090$ m²). Este resultado respalda la hipótesis planteada, ya que demuestra que la losa de poliestireno reduce la demanda de refuerzo en las columnas críticas.

Tabla 18

Prueba de t student para muestras emparejadas para la losa aligerada con ladrillos de arcilla y la losa aligerada con casetones de poliestireno

Diferencia (Losa con ladrillos de arcilla - Losa con casetones de poliestireno)	Media (m2)	Desviación Estándar (m2)	Error Estándar	t	df	p (dos colas)
	0.0005	0.0001	0.000038	13.23	6	< 0.001

Interpretación:

Los resultados muestran que la diferencia media en el área de acero requerida entre la estructura con losa aligerada de arcilla y la de poliestireno es de 0.000500 m², siendo mayor en la losa de arcilla. Con un valor de t de 13,23 (df=6) y un p-valor menor a 0.001, se evidencia una diferencia estadísticamente significativa entre ambas condiciones. Estos hallazgos confirman la hipótesis de que las columnas críticas en la estructura con losa aligerada con casetones de poliestireno requieren significativamente menor área de acero en comparación con aquellas con losa aligerada de ladrillo de arcilla.

Para la hipótesis específica 3:

HE3: El menor peso de la losa aligerada de poliestireno produce una reducción significativa en la fuerza cortante basal de la estructura en comparación con una vivienda con losa aligerada de ladrillos de arcilla al aplicar cargas de sismo.

Consideraciones: La fuerza cortante basal se calculó en una hoja de cálculo siguiendo los lineamientos y parámetros de la norma E.030 para estructuras sometidas a cargas sísmicas. Este cálculo se realizó para todos los pisos de la estructura y para las 2 variantes de losa aligerada por separado.

Tabla 19

Resultados estadísticos para la losa aligerada con ladrillos de arcilla y para la losa aligerada con casetones de poliestireno

Condición	N° Pisos	Fuerza Cortante Basal (Tn)	Desviación Estándar (kN)
Losa Aligerada de Ladrillos de Arcilla	5	67,38	5
Losa Aligerada de Casetones de Poliestireno	5	48,43	5

Interpretación:

Esta tabla muestra las mediciones de la fuerza cortante basal para cada tipo de losa, donde se tomaron 5 observaciones independientes (correspondientes a cada nivel de la estructura). La losa con ladrillos de arcilla presenta una fuerza cortante basal de 67,38 Tn con una desviación estándar de 5 Tn, mientras que la losa con casetones de poliestireno tiene una media de 48,43 Tn con la misma variabilidad. Esto indica que, en promedio, la estructura con losa de poliestireno experimenta una fuerza cortante basal menor, lo que sugiere una demanda sísmica reducida.

Tabla 20

Prueba t de Student para muestras emparejadas para el análisis de diferencias (Losa aligerada con ladrillos de arcilla – Losa aligerada con casetones de poliestireno)

Diferencia (Arcilla – Tecnopor)	Media Diferencia (kN)	SD Diferencia (kN)	t-value	df	p-value
	18,95	5	6.93	2	0,001

Interpretación:

La tabla resume el análisis estadístico de las diferencias entre las dos condiciones. La diferencia media de 19,69 Tn (con losa con ladrillos de arcilla mostrando valores más altos que la losa con ladrillos de poliestireno) y una desviación estándar de 5 Tn resultan en un valor t de 6,93 con 2 grados de libertad. Con un p-value de 0,001 menor a 0,05, se concluye que la diferencia

en la fuerza cortante basal entre ambas losas es estadísticamente significativa, lo que respalda la idea de que el menor peso de la losa aligerada de poliestireno reduce significativamente la fuerza cortante basal de la estructura en comparación con una vivienda con losa aligerada de ladrillos de arcilla.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Salcedo (2022), la investigación titulada Análisis comparativo estructural de un edificio aporticado de 6 pisos en la ciudad de Quito, usando el método de diseño basado en fuerzas variando los materiales, se realizó en la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. El objetivo principal fue evaluar el comportamiento estructural y el costo del uso de hormigón liviano con una resistencia a la compresión de $f'c=35$ MPa en un edificio de 6 pisos destinado a departamentos, utilizando una estructura aporticada especial sismo resistente y comparándolo con los métodos de diseño tradicionales. La metodología empleada tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con un nivel descriptivo-comparativo, y un diseño no experimental basado en simulaciones estructurales. Las técnicas e instrumentos utilizados incluyeron el modelamiento tridimensional y análisis estructural mediante el software ETABS 19, con análisis estático lineal y modal espectral, siguiendo la normativa ACI 318-19 para hormigones livianos. Se realizó el prediseño de elementos estructurales como losas, vigas y columnas, y se estimaron las cantidades de obra y costos de materiales (hormigón y acero) para obtener un presupuesto referencial. La población y muestra se centró en un edificio de 6 pisos sin subsuelos, ubicado en Quito, con características estructurales predefinidas. Como conclusión, el estudio determinó que el uso de hormigón liviano con $f'c=35$ MPa es viable para edificaciones de 6 pisos en Quito, cumpliendo con las normativas estructurales y mostrando un comportamiento adecuado ante cargas sísmicas y estáticas. El análisis estructural con ETABS 19 demostró que la estructura con hormigón liviano tuvo un comportamiento sismo resistente satisfactorio, de acuerdo con los factores de modificación establecidos, y su uso permitió optimizar el peso total de la estructura, impactando positivamente en la reducción de materiales de refuerzo y otros rubros del presupuesto, lo que confirma su viabilidad técnica y económica en proyectos de este tipo. Los análisis de desplazamientos máximos indican que

la estructura con losa de ladrillos de arcilla presentó un desplazamiento en la dirección X de 0.0107 m, mientras que la estructura con losa de tecnopor alcanzó 0.00674 m, resultando en una diferencia media de 0.00396 m que. Este hallazgo demuestra que la implementación de la losa aligerada de tecnopor reduce significativamente los desplazamientos en el eje principal, lo cual se alinea con la teoría de que una reducción en el peso del sistema contribuye a mejorar la respuesta sísmica de la estructura.

Vasquez (2022) en su investigación titulada: "Análisis Comparativo del Costo Estructural de un Edificio Empleando Losas Aligeradas con Poliestireno Expandido versus Ladrillo de Arcilla" Tesis. La "Universidad Privada del Norte" tuvo como objetivo comparar el desempeño estructural y económico de dos sistemas de losa aligerada: el sistema tradicional y el prefabricado Vigacero, en una vivienda unifamiliar de cuatro pisos. Buscaron determinar cuál de estos sistemas resulta más eficiente y adecuado, tanto en términos de costos como de comportamiento estructural en el contexto de la construcción en la ciudad de Trujillo. Analizo cada sistema en detalle considerando factores como el peso estructural, la facilidad de instalación, los tiempos de construcción y costos asociados a materiales y mano de obra. El sistema de losa aligerada tradicional es ampliamente utilizado en el país por su accesibilidad, aunque tiende a ser más pesado y a requerir más tiempo de ejecución. El sistema prefabricado Vigacero de reciente adopción presenta ventajas como la rapidez en su montaje y la reducción de cargas muertas sobre la estructura, aunque su costo inicial puede ser mayor. Simulaciones estructurales y análisis económicos para comparar los dos sistemas en términos de eficiencia y desempeño global. El autor concluyo que el sistema prefabricado Vigacero ofrece una serie de ventajas significativas frente al sistema tradicional, especialmente en términos de reducción de peso estructural y tiempos de construcción. Aunque el costo inicial del sistema Vigacero es ligeramente superior, la rapidez de instalación y la disminución de cargas permiten una optimización del diseño estructural y una mayor durabilidad de la edificación. El análisis de las áreas de acero requeridas en las columnas críticas mostró que la estructura con losa de ladrillos de arcilla requiere en promedio 0.002014 m² de refuerzo, en comparación con 0.001514 m² para la estructura con losa

aligerada de poliestireno, evidenciando una diferencia media de 0.000500 m². Este resultado respalda la hipótesis de que el menor peso de la losa de tecnopor reduce la demanda de refuerzo en las columnas, optimizando el diseño estructural y corroborando los principios teóricos de eficiencia en sistemas sismorresistentes.

Rojas (2022) en su investigación titulada: "Optimización estructural empleando el modelo interacción suelo – estructura y el modelo normativo peruano en el instituto pedagógico público juana moreno, distrito de Llata – Huamálles – Huánuco - 2021" Tesis. La "Universidad de Huánuco" tuvo como objetivo buscar garantizar que la edificación no solo cumpla con los estándares de seguridad y eficiencia estructural, sino también que se adapte de manera óptima a las características del suelo de la zona, minimizando riesgos. Análisis exhaustivo de las condiciones geotécnicas del terreno y su influencia en la estructura del edificio. Mediante el uso de modelos computacionales y herramientas de simulación se evaluó cómo el suelo interactúa con los elementos estructurales de la edificación lo que permitió ajustar el diseño a las condiciones específicas del lugar. A su vez se consideraron los lineamientos del modelo normativo peruano, asegurando que el proyecto cumpla con los requisitos locales en cuanto a seguridad sísmica y resistencia de materiales. El autor concluyó que la aplicación del modelo de interacción suelo-estructura, en conjunto con las normas nacionales, optimiza significativamente el comportamiento estructural del edificio. El análisis de la fuerza cortante basal reveló que la estructura con losa de ladrillos de arcilla presentó un valor promedio de 67,38 Tn, mientras que la estructura con losa de poliestireno alcanzó 48,43 Tn, con una diferencia media de 18,95 Tn. Este resultado evidencia que la reducción del peso de la losa aligerada mediante el uso de poliestireno disminuye significativamente las fuerzas laterales en la base, lo que se traduce en una mejor respuesta sísmica de la estructura, de acuerdo con la teoría de la reducción de inercia.

CONCLUSIONES

Para el objetivo general: Evaluar de qué manera impacta la sustitución de la losa aligerada de ladrillos de arcilla por una de casetones de poliestireno en el comportamiento estructural y sísmico de una vivienda aporticada de cinco pisos, según el análisis realizado en ETABS. Se concluye que el diseño estructural con losa aligerada de casetones de poliestireno demuestra un desempeño sísmico superior en comparación con el de losa aligerada de ladrillos de arcilla. El análisis estructural realizado en ETABS evidencia que la sustitución mejora significativamente el comportamiento global de una vivienda aporticada de cinco pisos. En particular, se observó una reducción notable en los desplazamientos en la dirección X (diferencia media de 0,00396 m, contrastación $t=33,43$; $p<0,001$), una disminución en la demanda de refuerzo de acero en las columnas críticas (reducción de 0,000500 m², contrastación $t=13,23$; $p<0,001$) y una reducción de 18,95 kN en la fuerza cortante basal (contrastación $t=6,93$; $p<0,05$). Estos resultados confirman que la aplicación de casetones de poliestireno en la losa aligerada optimiza el desempeño estructural y sísmico de la edificación.

Para el objetivo específico 1: Determinar cómo varía el comportamiento estructural de una vivienda aporticada de cinco pisos al cambiar el tipo de losa aligerada de ladrillos de arcilla por casetones de poliestireno al aplicar cargas de sismo. Se concluye que el uso de losas aligeradas con casetones de poliestireno reduce significativamente los desplazamientos máximos en comparación con las losas aligeradas de ladrillos de arcilla bajo la acción de cargas sísmicas. El análisis estructural realizado en ETABS demuestra que la losa de poliestireno presenta menores desplazamientos en la dirección X, con un valor medio de 0,00674 m frente a 0,0107 m en la losa de arcilla, evidenciando una reducción significativa de 0,00396 m. Esta diferencia fue respaldada estadísticamente mediante una contrastación ($t=33,43$; $p<0,001$), lo que confirma que el uso de losas aligeradas de poliestireno mejora la respuesta estructural de la edificación ante cargas sísmicas, especialmente en el eje principal.

Para el objetivo específico 2: Determinar y comparar en qué medida influye el tipo de losa aligerada (ladrillos de arcilla vs casetones de poliestireno) en las áreas de acero requerida para las columnas críticas de una vivienda aporticada al aplicar cargas de sismo. Se concluye que la implementación de losas aligeradas con casetones de poliestireno reduce significativamente la demanda de refuerzo en las columnas críticas en comparación con las losas aligeradas de ladrillos de arcilla bajo cargas sísmicas. El análisis realizado en ETABS evidenció que las columnas críticas (7 en total) en la estructura con losa aligerada con casetones de poliestireno requieren, en promedio, 0,001514 m² de acero, mientras que en la estructura con losa aligerada de ladrillos de arcilla la demanda es de 0,002014 m², reflejando una reducción promedio de 0,0005 m². Esta diferencia fue estadísticamente significativa ($t=13,23$; $p<0,001$), lo que confirma que el uso de casetones de poliestireno en la losa aligerada optimiza el diseño estructural al disminuir la cantidad de acero requerido en los elementos críticos.

Para el objetivo específico 3: Determinar en qué medida el peso de la losa aligerada (ladrillos de arcilla vs casetones de poliestireno) influye en la fuerza cortante basal de una vivienda aporticada de cinco pisos al aplicar cargas de sismo. Se concluye que la reducción de peso generada por el uso de losas aligeradas con casetones de poliestireno disminuye significativamente la fuerza cortante basal de la estructura en comparación con las losas aligeradas de ladrillos de arcilla bajo la acción de cargas sísmicas. El análisis sísmico, realizado conforme a la normativa E.030, evidenció que la estructura con losa de poliestireno presenta una menor fuerza cortante basal, con un valor promedio de 48,43 Tn, en contraste con los 67,38 Tn registrados para la losa de arcilla. La diferencia de 18,95 Tn, fue estadísticamente significativa ($t=6,93$; $p<0,05$), lo que confirma que la reducción de peso en la losa de poliestireno disminuye la demanda sísmica en la base de la estructura, contribuyendo a un mejor desempeño estructural frente a eventos sísmicos.

La utilización de casetones en losas aligeradas es plenamente compatible con el concreto armado, ya que actúan únicamente como

elementos de aligeramiento y encofrado perdido, sin participar en la resistencia estructural. El concreto y las armaduras forman un sistema monolítico que garantiza la capacidad portante, mientras que los casetones contribuyen a reducir el peso propio, mejorar el aislamiento térmico y optimizar el diseño sísmico. Su comportamiento físico y químico es estable, no afecta la durabilidad del concreto y cumple con las exigencias de las normas técnicas vigentes, siempre que se respeten los espesores de compresión y recubrimientos del acero.

El análisis estructural evidenció que el desplazamiento y la deriva producida en el eje Y se mantuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por la Norma E.030, lo que indica un adecuado desempeño lateral de la estructura frente a la acción sísmica en esa dirección. Esto demuestra que el sistema estructural presenta una distribución de rigidez suficiente para resistir los esfuerzos en el eje Y, garantizando estabilidad, funcionalidad y seguridad estructural sin comprometer el comportamiento sísmico del edificio.

RECOMENDACIONES

Se recomienda complementar el estudio con análisis dinámicos no lineales (time-history analysis) para evaluar el comportamiento de la estructura bajo cargas sísmicas y capturar la respuesta de la edificación en condiciones de no linealidad, lo que permitiría validar y afinar los resultados obtenidos con el análisis estático.

Futuras investigaciones podrían incluir ensayos a escala o pruebas in situ en modelos reales de losa aligerada, tanto de ladrillos de arcilla como de casetones de Tecnopor, para corroborar la precisión de los modelos computacionales y mejorar la confiabilidad de los parámetros utilizados en el software ETABS.

Además de los desplazamientos, el área de acero y la fuerza cortante basal, se recomienda analizar otros indicadores de desempeño sísmico, como la capacidad de disipación de energía, la ductilidad y la deformación interpisos, para obtener una visión más completa del comportamiento estructural.

Considerar estudios de viabilidad económica y análisis del ciclo de vida de los materiales propuestos permitiría evaluar no solo el desempeño sísmico, sino también la rentabilidad y la sostenibilidad ambiental de utilizar losa aligerada de poliestireno en comparación con la tradicional de ladrillos de arcilla.

Explorar el desempeño sísmico de otras tipologías constructivas o sistemas estructurales (como edificios con mayor número de pisos o configuraciones de planta distintas) utilizando los mismos materiales en losas aligeradas ayudaría a generalizar y robustecer los hallazgos obtenidos en este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad Falla, D. M., & Guivar Molina, N. (Setiembre de 2019). Comportamiento estructural sismorresistente mediante el análisis estático aplicando la nueva norma E.030 - 2018 en la I.E. Sagrado Corazón, Jaén 2019. Obtenido de http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/253/1/Abad_FDM_Guivar_MN.pdf
- Acosta Portilla, D. J. (2022). Análisis de la influencia del modelado de losas por elementos tipo shell y membrana en el diseño estructural de un edificio de 4 pisos, utilizando un software de diseño especializado. Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/35456/1/Tesis%20I.C.%201576%20-%20Acosta%20Portilla%20Darwin%20Jos%C3%A9.pdf>
- Aguilar, R., & Barbat, A. (2018). Una revisión crítica de las normativas de diseño sismorresistente en el Perú: E.030 sismo y E.060 concreto armado. *Ingeniería de estructuras*. Obtenido de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/703>
- Aguirre, R., & Zúñiga, A. (2019). *Sistema aporticado*. Obtenido de <https://enedificandoandando.blogspot.com/2020/12/para-que-sirven-los-micropilotes.html>.
- Allaucua Huaripaucar, A. E. (2021). Aplicación de la Norma Sismorresistente E.030 para el diseño estructural de una edificación aporticada de concreto armado en el caserío San Martín de Porras - Ica. Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.13028/4125>
- Almonacid Ordoñez, L. J. (2020). Uso del poliestireno expandido e innovado para losas aligeradas en el distrito de Huancayo 2018. Huancayo, Huancayo, Peru: Universidad Peruana Los Andes. Recuperado el 2024, de <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2669>
- Bandach Pantoja, A. S., & Castillo Sayán, R. A. (Mayo de 2023). Diseño estructural de un edificio multifamiliar de concreto armado de cuatro pisos en Lima y comparación entre las normas de diseño

sismorresistente de Perú, Chile y Colombia. Lima, Lima, Peru: Pontificia Universidad Católica Del Perú. Recuperado el 2024, de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/27036/BANDACH_PANTOJA_AARON_DISENO_ESTRUCTURAL_EDIFICIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bartolo Vivanco, K. R., & Ledesma Críales, C. M. (2021). Diseño del sistema aporticado de una vivienda multifamiliar de seis pisos empleando fibra de acero, Santa Clara, Ate – 2021. Lima, Lima, Peru: Universidad Cesar Vallejo. Recuperado el 2024, de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/79372>

Belizario, Y. (2022). Análisis y diseño de una estructura aporticada de concreto armado de tres niveles con el software ETABS. Lima, Lima, Peru. Recuperado el 23 de September de 2024, de Repositorio de la Universidad César Vallejo: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104289>

Bernabé Huapaya, J. V., & Torres Champac, P. A. (2020). Análisis del comportamiento sísmico utilizando diferentes tipos de losas aligeradas en edificaciones multifamiliares, Distrito de Asia, Cañete – 2020. Lima, Lima, Peru: Universidad Cesar Vallejo. Recuperado el 2024, de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/57608/Bernab%c3%a9_HJV-Torres_CPA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Boza Arhuata, E. A., & Salcedo Rodriguez, S. M. (16 de Noviembre de 2023). Diseño estructural para una edificación con problemas de piso blando por alta densidad de muros mediante sistema aporticado en el eje y-y y sistema de albañilería confinada en el eje x-x. Lima, Lima, Peru: Universidad Peruana De Ciencias Aplicadas. Recuperado el 19 de Setiembre de 2024, de https://upc.aws.openrepository.com/bitstream/handle/10757/670247/Boza_AA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Bozzo Chirichigno, M., & Bozzo Rotondo, L. M. (2021). *Losas reticulares mixtas: Proyecto, análisis y dimensionamiento*. Reverte.

Bravo Cervantes, A. N. (2023). Verificación estructural de edificios multifamiliares usando la Norma E.030-2018 diseño sismorresistente para minimizar los riesgos sísmicos - Huánuco - 2023. Huanuco,

- Huanuco, Peru: Universidad de Huanuco. Recuperado el 2024, de <https://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14257/5238/Bravo%20Cervantes%2c%20Alexia%20Nayarith.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caballero Repullo, A., Agrela Sainz, F., Ayuso Muñoz, J., Jiménez Romero, J. R., & López Aguila, M. (2010). *Cimentaciones y estructuras de contención de tierras*. Bellisco.
- Camacho de Báez, B. (2021). La población y la muestra. *Uptc*. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/server/api/core/bitstreams/4e31aa06-209f-408c-943a-38e50bb8cad8/content>
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2022). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*. Obtenido de <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>
- Chopra, A. K. (2019). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Pearson.
- Cobos Sanchiz, D., López Meneses, E., & Martín Padilla, A. H. (2018). Investigación no experimental y generalización: Bases epistemológicas de las corrientes actuales. *Dialnet*. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7309529>
- Condor Pósito, E. O. (2023). Comparación del comportamiento estructural en un edificio educativo con entrepiso de losa aligerada con ladrillo y poliestireno expandido. Cajamarca, Peru: Universidad Nacional Cajamarca. Recuperado el 2024, de file:///C:/Users/ACER/Desktop/Tesis_Ever%20Osmar%20Condor%20P%C3%B3sito.pdf
- CONSTRUCTIVO. (2023). *Conozca la importancia del diseño estructural en edificaciones*. Recuperado el 23 de September de 2024, de Revista constructivo: <https://constructivo.com/noticia/conozca-la-importancia-del-diseno-estructural-en-edificaciones-1687818432>
- Cuayla Falcon, F. K. (2022). Comparación de las propiedades físico - mecánicas de ladrillos ecológicos artesanales y ladrillos de arcilla para techo en losas aligeradas - Moquegua 2022. Lima, Lima, Peru:

- Universidad Cesar Vallejo. Recuperado el 2024, de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/104621>
- Deulofeuth Carrera, C. D., & Severiche Hernandez, J. J. (2019). Incidencia de la adición del aserrín fino en las propiedades físicas de los ladrillos de arcilla. Universidad de Cartagena. Recuperado el 2025, de <https://repositorio.unicartagena.edu.co/server/api/core/bitstreams/923bbe44-3c69-4de2-90c8-bd31165fb3d6/content>
- DG Design Modeling. (18 de April de 2024). *Software ETABS: ¿Qué es y cómo puedes utilizarlo?* Recuperado el 23 de September de 2024, de Design Modeling Academy: <https://dgdesignmodeling.com/sin-categoria/software-etabs-que-es-y-como-puedes-utilizarlo/>
- Díaz Chacón, E. S. (2019). Eficiencia económica y estructural del ladrillo de concreto para losa aligerada con adición de poliestireno en diferentes porcentajes. Cajamarca, Peru: Universidad Privada del Norte. Recuperado el 2024, de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23018>
- Duran Rodríguez, R. C. (2022). Análisis comparativo del comportamiento estructural de una vivienda multifamiliar, utilizando ladrillo king kong industrial y ladrillo artesanal macizo, Ayacucho 2022. Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/92645>
- Espinoza Sandoval, L. A. (2020). Analisis de la norma de concreto armado E.060. *Udocz*. Obtenido de <https://www.udocz.com/apuntes/98855/analisis-de-la-norma-de-concreto-armado-e-060>
- Febres Ballon, G. M., & Vargas Guerra, M. E. (2021). Estudio de prefactibilidad para la elaboración de ladrillos ecológicos a base de material reciclado Pet. Universidad de Lima. Obtenido de https://repositorio.ulima.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12724/14042/Febres-Vargas_Estudio-prefactibilidad-elaboraci%C3%B3n-.pdf
- Ferrovial. (2020). *Carga viva: qué es, diferencia con carga muerta, calculo de la carga viva*. Recuperado el 23 de September de 2024, de Ferrovial: <https://www.ferrovial.com/es/stem/carga-viva/>

- Figuerola Calderon, V. P., & Graos Lavado, J. I. (2022). Propiedades físico mecánicas del ladrillo artesanal de arcilla quemado, adicionando polvo de caparazón de cangrejo reciclado, Huamachuco - 2022. Universidad César Vallejo.
- Gómez Inocente, A. M. (2024). Comportamiento estructural de entrepiso entre losas aligeradas bidireccionales y las losas macizas mediante el análisis estructural en una edificación de 5 niveles, Amarilis - Huánuco - 2023. Huanuco, Huanuco, Peru: Universidad de Huanuco. Recuperado el 2024, de <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/20.500.14257/5050>
- Gonzales Armas, R. K. (2017). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos de concreto con la incorporación de PET en diferentes porcentajes. Universidad Privada del Norte.
- Guevara Alban, G. P., Verdesoto Arguello, A. E., & Castro Molina, N. E. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*. Obtenido de <http://recimundo.com/index.php/es/article/view/860>
- Harmsen, T. E. (2017). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Fondo Editorial.
- Hilas Fustamante, E. Y. (2023). Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de ladrillos fabricados con micelio fúngico para su uso en losas aligeradas. Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo. Obtenido de https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/6778/1/TIB_HilasFustamanteElber.pdf
- Julca Calua, J., & Rios Jimenez, D. M. (2023). Golpeteo sísmico en estructuras adyacentes aporticadas de concreto armado, Cajamarca - 2022. Cajamarca, Peru: Universidad Privada del Norte. Recuperado el 2024, de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/35413/Julca%20Calua%20Jorge%20-%20Rios%20Jimenez%20Deysi%20Margot.pdf?sequence=1>
- Legua Prado, F. A. (2022). Aplicación de la Norma Diseño Sismorresistente E.030 para la evaluación estructural de los pabellones de la Facultad

- de Agronomía en el distrito de Subtanjalla - Ica. Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.13028/4123>
- Loges, S. (2020). Las conexiones y su incidencia en el comportamiento sísmico de edificaciones aporticadas de acero estructural. Universidad Central de Venezuela. Obtenido de <http://caelum.ucv.ve/bitstream/10872/21729/1/02%20TA%20AGREGADO-SIGFRIDO%20LOGES%20-%2023%20SEP-2020.pdf>
- Machado Omonte, J. C., & Quistan Jurado, J. A. (2021). Evaluación sísmica de una vivienda doméstica con el uso de aisladores sísmicos basados en la norma E030 en un distrito de Lima, 2019: una revisión de la literatura científica. Universidad Privada del Norte. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25992>
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2018). *Diseño de concreto reforzado: edición 318-14 del Código ACI*. (J. I. Cera Alonso, Trad.) Alfaomega.
- Montico Dipaul, J. (2023). *Poliestileno*. Halley.
- Norma E.020. (2021). Cargas. Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Norma E.030 Diseño Sismorresistente. (2020). Norma E.030. Lima, Perú: SENCICO.
- Norma E.060 Concreto Armado. (2020). Norma E0.60. Lima, Perú: SENCICO.
- Ortega García, J. E. (2014). *Diseño de estructuras de concreto armado. Tomo I*. Editorial Macro.
- Ortega, C. (2020). *Investigación aplicada: Definición, tipos y ejemplos*. Recuperado el 9 de October de 2024, de QuestionPro: <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-aplicada/>
- Oviedo Sarmiento, R. (2024). *Diseño sismorresistente de edificaciones de concreto armado* (3 ed., Vol. 1). Diseño sismorresistente de edificaciones de concreto armado. Obtenido de <http://isbn.bnp.gob.pe/catalogo.php?mode=detalle&nt=147226>
- Payne Deliz, D. R. (2022). Estudio de demandas energéticas en viviendas en base al comportamiento térmico de mezclas aligeradas en sistemas constructivos sistemas constructivos. Universidad Sonora. Obtenido de <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/bitstream/20.500.12984/7021/1/paynedelizdaliarosam.pdf>

- Pérez Carrasco, E. J., & Tequen Acha, Y. J. (Enero de 2021). Comparativo estructural del sistema aporticado y albañilería confinada de un edificio multifamiliar, Jaén – Cajamarca. Peru: Universidad Nacional de Jaén. Recuperado el 2025, de http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/285/1/P%C3%A9rez_CEJ_Tequen_AYJ.pdf
- Pizango Montoya, E., & Altamirano Cerna, F. (2019). Diseño de ladrillo no estructural de 0.15x0.30x1.20m en losa aligerada con plástico reciclado, para reducción de carga muerta en edificaciones, Rioja - San Martín 2018. Peru: Universidad Cesar Vallejo. Recuperado el 2024, de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/43420/Pizango_ME-Altamirano_CF.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Plasencia Rebaza, M. D. (2021). Análisis comparativo del comportamiento estructural de una Edificación utilizando la Norma E.060 del RNE y el Código Americano ACI318S-19 – Trujillo. Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/81886>
- Poma Lopez, D. A., & Rodriguez Gonzales, E. E. (2020). Aplicación de la norma técnica sismorresistente E.030 para evaluar el comportamiento sísmico del edificio Las Mercedes del distrito de Cercado de Lima. Universidad San Martín de Porras. Obtenido de <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/7013>
- Rodriguez Apolinario, G. M. (2022). Aplicación de norma E.030 para evaluación de vulnerabilidad estructural de I.E. Nuestra Señora de las Mercedes, distrito de Carhuaz, 2022. Universidad Cesar Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/88338>
- Rojas Miraval, M. A. (2022). Optimización estructural empleando el modelo interacción suelo – estructura y el modelo normativo peruano en el instituto pedagógico público juana moreno, distrito de Llaeta – Huamalíes – Huánuco - 2021. Huanuco, Huanuco, Peru: Universidad de Huanuco. Recuperado el 2024, de <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/3653>
- Rupay Vargas, M. J., Huamani Escalante, M., Santos Quispe, Y. A., Velásquez Pecho, R. A., & Huamani Curi, J. R. (26 de Julio de 2023). Análisis estructural utilizando el software ETABS para la identificación del

sistema estructural. *Structural analysis using the ETABS software for the identification of the structural system*, 3(71). Obtenido de <https://revistas.uniscjsa.edu.pe/index.php/Yotantsipanko/article/view/30/30>

Salcedo Gallegos, F. A. (2022). Análisis comparativo estructural de un edificio aporticado de 6 pisos en la ciudad de Quito, usando el método de diseño basado en fuerzas variando los materiales. Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22940>

Salinas Quezada, M. A., & Vega Castillo, J. T. (2019). Propiedades físicas y mecánicas de ladrillos elaborados con bolsas recicladas de base polimérica para techos aligerados, Chimbote 2019. Universidad Cesar Vallejo. Recuperado el 2025, de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/42558>

Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos. *Scielo*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.19083/ridu.2019.644>

Sánchez Martínez, D. V. (2022). Técnicas e instrumentos de recolección de datos en investigación. *Latindex*. Obtenido de <https://doi.org/10.29057/estr.v9i17.7928>

Sol 90. (2014). *Terremotos y tsunamis*. Encyclopaedia Britannica, Incorporated.

Tito Huerta, G. A. (2021). Diseño Estructural de una Vivienda Multifamiliar, Incorporando Concreto con Aditivo Microsílice, Urbanización Magisterial 6 de Julio, San Juan de Miraflores, 2021. Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/80092>

Totoy, V., & Celeste, A. (Julio de 2022). Análisis comparativo estructural de un edificio aporticado de 6 pisos en la ciudad de Quito, usando el método de diseño basado en fuerzas variando los materiales : análisis estructural, diseño estructural de edificio aporticado de 6 pisos con acero estruct. Republica del Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Recuperado el 19 de Setiembre de 2024, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25194>

Ugas Cervera, M. L. (2023). Análisis comparativo del diseño estructural de un edificio de concreto armado aplicando el Reglamento Nacional de

Edificaciones, norma E 030 del 2006 y la norma E 030 vigente al 2021. Chiclayo, Lambayeque, Peru: Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo. Recuperado el 2024, de file:///C:/Users/ACER/Desktop/TL_UgasCerveraManuel.pdf

Vasquez Zegarra, I. K. (2022). Análisis comparativo entre sistema de losa aligerada tradicional y prefabricada vigacero en una vivienda unifamiliar de 4 pisos, Trujillo 2022. Trujillo, Peru: Universidad Privada del Norte. Recuperado el 2024, de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/33520/Vasquez%20Zegarra%2c%20Ingrid%20Katherine.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Yapuchura Platero, R. J. (2019). Influencia de la ceniza volante en el incremento de la resistencia a la compresión y flexión para losas de concreto de $f'c=210$ kg/cm² utilizando agregado de la cantera Arunta – Tacna. Tacna, Peru: Universidad Privada de Tacna. Obtenido de <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/812>

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Varón López, V. (2025). *Análisis comparativo del diseño estructural de una vivienda aporticada de cinco pisos con losa aligerada de ladrillo de arcilla y poliestireno utilizando ETABS*, Huánuco - 2025 [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

RESOLUCIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

RESOLUCIÓN N° 2807-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 18 de diciembre de 2024

Visto, el Oficio N° 1897-2024-C-PAIC-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Civil, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA APORTICADA DE CINCO PISOS CON LOSA ALIGERADA DE LADRILLO DE ARCILLA Y POLIESTIRENO UTILIZANDO TABS, HUÁNUCO - 2025", presentado por el (la) Bach. **Victor Ruben VARON LOPEZ**.

CONSIDERANDO:

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 2133-2024-D-FI-UDH, de fecha 27 de setiembre de 2024, perteneciente al Bach. **Victor Ruben VARON LOPEZ**, se le designó como ASESOR(A) a la Mg. Daisy Guadalupe Granados Martinez, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 1897-2024-C-PAIC-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA APORTICADA DE CINCO PISOS CON LOSA ALIGERADA DE LADRILLO DE ARCILLA Y POLIESTIRENO UTILIZANDO TABS, HUÁNUCO - 2025", presentado por el (la) Bach. **Victor Ruben VARON LOPEZ**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Yelen Lisseth Trujillo Ariza (Presidente), Mg. Martin Cesar Valdivieso Echevarria (Secretario) y Mg. Alberto Carlos Jara Trujillo (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: "ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA APORTICADA DE CINCO PISOS CON LOSA ALIGERADA DE LADRILLO DE ARCILLA Y POLIESTIRENO UTILIZANDO TABS, HUÁNUCO - 2025", presentado por el (la) Bach. **Victor Ruben VARON LOPEZ** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Civil, del Programa Académico de Ingeniería Civil de la Universidad de Huánuco.

Artículo Segundo. - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Exp. Graduando - Interesado - Archivo.
BCR/EJML/nro.

ANEXO 2

RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR

UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

RESOLUCIÓN N° 2133-2024-D-FI-UDH

Huánuco, 27 de setiembre de 2024

Visto, el Oficio N° 1461-2024-C-PAIC-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Civil y el Expediente N° 510199-0000008730, del Bach. **Victor Ruben VARON LOPEZ**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45° inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 510199-0000008730, presentado por el (la) Bach. **Victor Ruben VARON LOPEZ**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone a la Mg. Daisy Guadalupe Granados Martinez, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27 y 28 del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

SE RESUELVE:

Artículo Primero. - DESIGNAR, como Asesor de Tesis del Bach. **Victor Ruben VARON LOPEZ** a la Mg. Daisy Guadalupe Granados Martinez, Docente del Programa Académico de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería.

Artículo Segundo.- El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
FACULTAD DE INGENIERÍA
Ing. Ethel Juvenal Montero Lozano
SECRETARIO DOCENTE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO
Mg. Bertha Campos Rios
DECANA DE LA FACULTAD DE INGENIERIA

Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIC - Asesor - Mgr. y Reg.Acad. - Interesado - Archivo.
BLCR/EJML/ato.

ANEXO 3

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA VIVIENDA APORTICADA DE CINCO PISOS CON LOSA ALIGERADA DE LADRILLO DE ARCILLA Y POLIESTIRENO UTILIZANDO ETABS, HUÁNUCO - 2025”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
Problema general PG: ¿De qué manera impacta la sustitución de la losa aligerada de ladrillos de arcilla por una de casetones de poliestireno en el comportamiento estructural y sísmico de una vivienda aporticada de cinco pisos, según el análisis realizado en ETABS?	Objetivo general OG: Evaluar de qué manera impacta la sustitución de la losa aligerada de ladrillos de arcilla por una de casetones de poliestireno en el comportamiento estructural y sísmico de una vivienda aporticada de cinco pisos, según el análisis realizado en ETABS.	Hipótesis Hipótesis general HG: El diseño estructural de una vivienda aporticada de cinco pisos con losa aligerada de casetones de poliestireno mostrará un mejor comportamiento sísmico en comparación con una vivienda con losa aligerada de ladrillo de arcilla.	Tipo de investigación: Aplicada.
Problema específico PE1: ¿Cómo varía el comportamiento estructural de una vivienda aporticada de cinco pisos al cambiar el tipo de losa aligerada de ladrillo de arcilla por casetones de poliestireno al aplicar cargas de sismo?	Objetivos específicos OE1: Determinar cómo varía el comportamiento estructural de una vivienda aporticada de cinco pisos al cambiar el tipo de losa aligerada de ladrillos de arcilla por casetones de poliestireno al aplicar cargas de sismo.	Hipótesis específica HE1: El uso de losa aligerada con casetones de poliestireno reduce significativamente los desplazamientos máximos en comparación con la losa aligerada con ladrillos de arcilla al aplicar cargas sísmicas. HE2: La implementación de losa aligerada con castores de poliestireno disminuye las áreas de acero requeridas en las columnas	Enfoque: Enfoque cuantitativo.
			Alcance o nivel: Alcance explicativo.
			Diseño: Diseño no experimental.
			Técnica de investigación: Observación directa
			Instrumentos: - Software ETABS - Normas sismorresistentes (E.030)
			Población: La población podría considerarse como todas las viviendas

PE2: ¿En qué medida influye el tipo de losa aligerada (ladrillos de arcilla vs casetones de poliestireno) en las áreas de acero requerida para las columnas críticas de una vivienda aporticada al aplicar cargas de sismo? PE3: ¿En qué medida el peso de la losa aligerada (ladrillos de arcilla vs casetones de poliestireno) influye en la fuerza cortante basal de una vivienda aporticada de cinco pisos al aplicar cargas de sismo?	OE2: Determinar y comparar en qué medida influye el tipo de losa aligerada (ladrillos de arcilla vs casetones de poliestireno) en las áreas de acero requerida para las columnas críticas de una vivienda aporticada al aplicar cargas de sismo. OE3: Determinar en qué medida el peso de la losa aligerada (ladrillos de arcilla vs casetones de poliestireno) influye en la fuerza cortante basal de una vivienda aporticada de cinco pisos al aplicar cargas de sismo.	críticas en comparación con la losa aligerada con ladrillos de arcilla al aplicar cargas de sismo. HE3: El menor peso de la losa aligerada con casetones de poliestireno produce una reducción significativa en la fuerza cortante basal de la estructura en comparación con una losa aligerada con ladrillos de arcilla al aplicar cargas de sismo. Variables Variable dependiente - Análisis estructural (Comportamiento Sísmico, Áreas de Acero en columnas Críticas y fuerza cortante basal). Variable independiente -Tipo de Losa Aligerada	aporticadas de cinco pisos que podrían ser construidas utilizando losas aligeradas de ladrillo de arcilla o poliestireno. Muestra: La muestra específica para el estudio consistiría en: -Un modelo de vivienda aporticada de cinco pisos con losa aligerada de ladrillo de arcilla. -Un modelo de vivienda aporticada de cinco pisos con losa aligerada de poliestireno.
--	---	--	---

ANEXO 4

INSTRUMENTOS DE RECOJO DE DATOS

ANALISIS SISMICO ESTATICO PARA LA ESTRUCTURA CON LOSA ALIGERADA DE LADRILLOS DE ARCILLA

1.- RESTRICCIONES

2.- CONSIDERACIONES

Z	0.25
S	1.2
Tp	0.6
TL	2
C	2.5
U	1
R0	8
Ia	1
Ip	1
R	8

Vivienda
Porticos
Regular
Regular

"T", Coeficiente Sismico

"T"	0.577
"C"	0.09375

ZUCS/R

Comprobación

C/R	0.3125
K	1.0385

≥ 0.11

Altura de la edificacion

H1erP	3.2
H2y3erP	2.8

DY	20
Eacc_X	1

2.- FUERZA CORTANTE (V)

V	53.8311919	Tn
---	------------	----

4.- FUERZAS LATERALES ENTRE PISO

Piso	P (Tn)	hi (m)	hi^k	p*h^k	Alpha	Fi (Tn)	MT acc (Tn-m)
P3	190.78619	8.8	9.568530709	1825.54352	0.49452761	26.6210108	26.6210108
P2	189.11145	6	6.428506295	1215.70415	0.32932618	17.7280207	17.7280207
P1	194.30174	3.2	3.3465572	650.241887	0.17614621	9.48216033	9.48216033
SUMA	574.19938			3691.48955			

ANALISIS SISMICO ESTATICO PARA LA ESTRUCTURA CON LOSA ALIGERADA CON CASETONES DE POLIESTIRENO

1.- RESTRICCIONES

2.- CONSIDERACIONES

Z	0.25
S	1.2
Tp	0.6
TL	2
C	2.5
U	1
R0	8
Ia	1
Ip	1
R	8

Vivienda
Porticos
Regular
Regular

"T", Coeficiente Sismico

"T"	0.365
"C"	0.09375

ZUCS/R

Comprobación

C/R	0.3125
K	0.9325

≥ 0.11

Altura de la edificacion

H1erP	3.2
H2y3erP	2.8

2.- FUERZA CORTANTE (V)

V	34.14369188	Tn
---	-------------	----

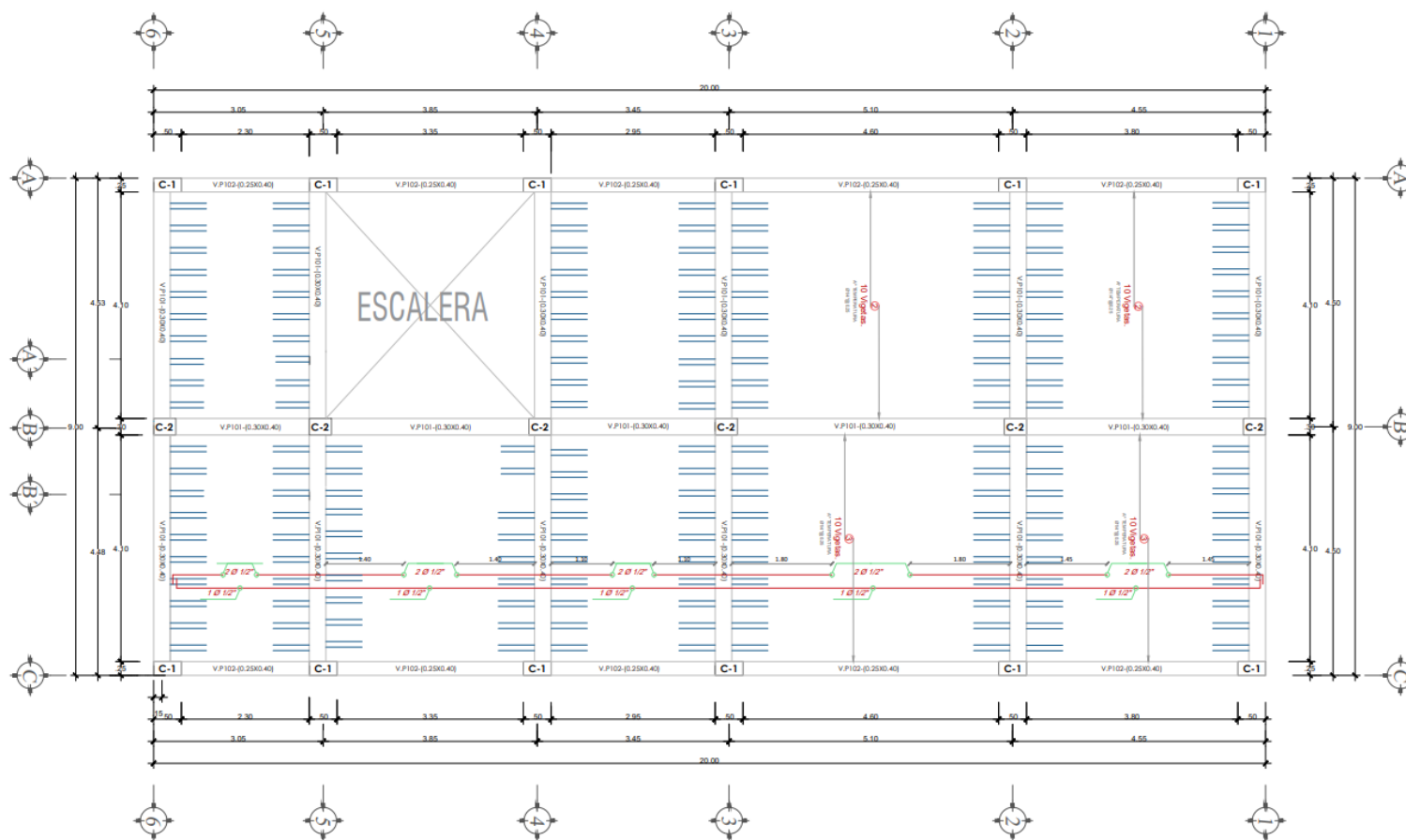
DX	9
Eacc_y	0.45

4.- FUERZAS LATERALES ENTRE PISO

Piso	P (Tn)	hi (m)	hi^k	p*h^k	Alpha	Fi (Tn)	MT acc (Tn-m)
P3	120.78619	8.8	7.59853891	917.798565	0.47832269	16.3317026	7.34926615
P2	119.11145	6	5.31650273	633.256349	0.330029804	11.2684359	5.07079617
P1	124.30174	3.2	2.95836908	367.730424	0.191647506	6.54355339	2.94459903
SUMA	364.19938			1918.78534			

ANEXO 5

PLANO DE UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO



Nota. Plano Aligerado típico del 1ero al 5to piso