



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA  
ESTRUCTURAL APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5  
NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y CONVENCIONALES  
EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. GROVER JARMENS RUSSBEL HILASACA MARTINEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**JULIACA – PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA  
ESTRUCTURAL APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5  
NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y CONVENCIONALES  
EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025.**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. GROVER JARMENS RUSSBEL HILASACA MARTINEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**


**PRESIDENTE**

:   
Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA

**PRIMER MIEMBRO**

:   
Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
Dr. ARNALDO YANA TORRES

**ASESOR DE TESIS**

:   
M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

: TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17



**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1677-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 10 de diciembre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025 - CU - 12153 presentado por el (la) Bachiller: **GROVER JARMENS RUSSEL HILASACA MARTINEZ** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **GROVER JARMENS RUSSEL HILASACA MARTINEZ**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5 NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y CONVENCIONALES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- \* **Presidente** : Dr. OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
- \* **1er Miembro** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- \* **2do Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES

**ARTICULO SEGUNDO.** - **RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

**ARTICULO TERCERO.** - **APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **GROVER JARMENS RUSSEL HILASACA MARTINEZ**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5 NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y CONVENCIONALES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : miércoles 17 de diciembre del 2025
- \* **HORA** : 14:00 horas
- \* **LUGAR** : Aula 306 - FICP

**ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



cc. Archivo interesado (a)



# UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

## RESOLUCIÓN DECANAL N° 992-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 03 de setiembre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU- 2181, presentado por el señor (a) GROVER JARMENS RUSSEL HILASACA MARTINEZ solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 719-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 098-2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): GROVER JARMENS RUSSEL HILASACA MARTINEZ ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5 NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y CONVENCIONALES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 098-2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5 NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y CONVENCIONALES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): GROVER JARMENS RUSSEL HILASACA MARTINEZ, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5 NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y CONVENCIONALES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente M.Sc. **JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
OSCAR Y VIVIANE CALLA  
DECANO (e)  
C.P. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. FREDY WILLY MORALES APASA  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:  
Archivo UIE  
Interesada (a)



# UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

## RESOLUCIÓN DECANAL N° 1291-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 15 de octubre del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025-CU-9568 por el señor (a): **GROVER JARMENS RUSSEL HILASACA MARTINEZ** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 956-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 132 - 2025 del integrante del comité de investigación 1291 de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **GROVER JARMENS RUSSEL HILASACA MARTINEZ**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5 NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y CONVENCIONALES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 132 - 2025 aprobando el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5 NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y CONVENCIONALES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **GROVER JARMENS RUSSEL HILASACA MARTINEZ**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5 NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y CONVENCIONALES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Oscar V. VIANONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32710



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. Frito Wilfrido Mazoni Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:  
Archivo  
interesado (s)



# 18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

## Fuentes principales

- 12% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 16% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.


Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Metadatos Complementarios

<b>Título de la tesis</b>	
<b>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5 NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y CONVENCIONALES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025</b>	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	GROVER JARMENS RUSSBEL HILASACA MARTINEZ
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70024679
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0001-5225-661X">https://orcid.org/0009-0001-5225-661X</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	01323821
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0003-4595-7589">https://orcid.org/0000-0003-4595-7589</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	OSCAR VICENTE VIAMONTE CALLA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02371550
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	41414676
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología de Materiales - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú  Departamento: Puno  Provincia: San Román  Distrito: San Miguel  Latitud: S 15° 28' 43"  Longitud: O 70° 07' 37"</p>  <p><a href="https://maps.app.goo.gl/sRv2M7R1wK3qJ4nL7">https://maps.app.goo.gl/sRv2M7R1wK3qJ4nL7</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Setiembre 2025 – Diciembre 2025
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	<p>Ingeniería Civil  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00</a></p> <p>Ingeniería de Materiales  <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.05.00">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.05.00</a></p>


  
**Carlos Nájor**  
DIRECTOR  
OFICINA DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo GROVER JARMENS RUSSBEL HILASACA MARTINEZ, identificado con DNI Nro. 70024679, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
Programa de Segunda Especialidad,
Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL

APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5 NIVELES CON LOSAS

PRETENSADAS Y CONVENCIONALES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025

Asesorado por: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 29 de diciembre del 2025

Firma del Asesor (obligatoria)

Firma del Estudiante (obligatoria)



Huella



### **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi familia, a mi madre Norma Martínez por apoyo incondicional y siempre seguir apoyándome, a mi familia que siempre estuvieron ahí en todo momento.



## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis docentes por el conocimiento y orientación brindados durante este proceso, a los Ing. Rudy y Edwin Martinez por ser un libro abierto en muchos momentos de duda académica.



## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
ÍNDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT .....	x
INTRODUCCIÓN.....	xi

### CAPÍTULO I

#### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Situación problemática.....	13
1.2 Planteamiento del problema. ....	14
1.2.1 Problema General.....	14
1.2.2 Problemas Específicos. ....	14
1.3 Objetivos de la investigación. ....	15
1.3.1 Objetivo General.....	15
1.3.2 Objetivos Específicos. ....	15
1.4 Justificación de la investigación. ....	16
1.4.1 Justificación Teórica .....	16
1.4.2 Justificación Práctica .....	16
1.4.3 Justificación Social .....	16
1.4.4 Justificación Económica .....	17
1.4.5 Justificación Ambiental .....	17
1.5 Hipótesis de la Investigación. ....	18
1.5.1 Hipótesis General.....	18
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	18
1.6 Variables e indicadores.....	18



1.6.1 Variable de Caracterización.....	18
1.6.2 Variable de Interés .....	19
1.7 Variables e indicadores.....	20

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación.....	21
2.1.1 Antecedentes Internacionales.....	21
2.1.2 Antecedente Nacionales.....	23
2.1.3 Antecedentes locales.....	27
2.2 Bases teóricas.....	28
2.2.1 Comportamiento sísmico de estructuras.....	28
2.2.2 Sistemas Estructurales Aportricados .....	34
2.2.3 Tipos de losa .....	40
2.3 Marco conceptual .....	46

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Enfoque de la investigación .....	48
3.2 Tipo de la investigación .....	48
3.3 Nivel de la Investigación .....	49
3.4 Diseño de la Investigación .....	49
3.5 Método de la Investigación .....	50
3.6 Población y Muestra .....	50
3.6.1 Población.....	50
3.6.2 Muestra .....	50
3.7 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	51
3.7.1 Técnicas de recolección de datos.....	51
3.7.2 Instrumentos de recolección de datos.....	52
3.8 Procesamiento de datos .....	52



### CAPÍTULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados.....	53
4.1.1 Parámetros mínimos para la determinación del comportamiento sísmico.....	53
4.1.2 Verificar las irregularidades estructurales .....	57
4.1.3 Analizar las fuerzas cortantes en la base por medio de un análisis dinámico modal espectral. ....	60
4.1.4 Verificar los desplazamientos laterales.....	78
4.2 Discusión de resultados.....	83
CONCLUSIONES .....	86
RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
ANEXOS.....	95



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables.....	20
Tabla 2	Espectro pseudo aceleración en la dirección X-Y. ....	62
Tabla 3	Espectro pseudo aceleración en la dirección Z. ....	64
Tabla 4	Sistema estructural en la dirección X. ....	67
Tabla 5	Sistema estructural en la dirección Y. ....	67
Tabla 6	Espectro pseudo aceleración en la dirección X-Y. ....	70
Tabla 7	Espectro pseudo aceleración en la dirección Z. ....	72
Tabla 8	Sistema estructural en la dirección X. ....	76
Tabla 9	Sistema estructural en la dirección Y. ....	76
Tabla 10	Desplazamientos laterales en dirección X. ....	78
Tabla 11	Desplazamientos laterales en dirección Y. ....	79
Tabla 12	Desplazamientos laterales en dirección X. ....	81
Tabla 13	Desplazamientos laterales en dirección Y. ....	82



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cargas aplicadas a la losa de entrepiso de la estructura. .... 54

Figura 2 Carga distribuida en vigas por tabiquería..... 54

Figura 3 Carga de losa prefabricada..... 55

Figura 4 Cargas aplicadas a la losa de entrepiso de la estructura. .... 56

Figura 5 Carga distribuida en vigas por tabiquería..... 56

Figura 6 Ratio menor a 1.3 para descartar irregularidades torsionales para dirección X.57

Figura 7 Ratio menor a 1.3 para descartar irregularidades torsionales para la dirección Y.  
..... 58

Figura 8 Ratio menor a 1.3 para descartar irregularidades torsionales para dirección X.59

Figura 9 Ratio menor a 1.3 para descartar irregularidades torsionales para dirección Y.60

Figura 10 Fuerza cortante base ..... 60

Figura 11 Verificación de cortante mínima ..... 61

Figura 12 Espectro de Pseudo – Aceleraciones X-X..... 63

Figura 13 Espectro de Pseudo – Aceleraciones Y-Y..... 63

Figura 14 Coeficiente sísmico vertical..... 65

Figura 15 Cargas aplicadas. .... 65

Figura 16 Cortante dinámico en x e y. .... 66

Figura 17 Cortante basal por sismo dinámica en dirección X..... 68

Figura 18 Cortante basal por sismo dinámica en dirección Y..... 68

Figura 19 Modos de vibración..... 69

Figura 20 Fuerza cortante base ..... 69

Figura 21 Verificación de cortante mínima ..... 70

Figura 22 Espectro de pseudo – aceleraciones Y-Y..... 71

Figura 23 Espectro de pseudo – aceleraciones Y-Y..... 72

Figura 24 Coeficiente sísmico vertical..... 73



Figura 25 Cargas aplicadas. ....	74
Figura 26 Cortante dinámico en X e Y. ....	75
Figura 27 Cortante basal por sismo dinámica en dirección X. ....	77
Figura 28 Cortante basal por sismo dinámica en dirección Y. ....	77
Figura 29 Modos de vibración. ....	78
Figura 30 Desplazamientos de la estructura en dirección X-X e Y-Y ....	79
Figura 31 Derivas de la estructura en dirección X-X e Y-Y.....	80
Figura 32 Desplazamientos de la estructura en dirección X-X e Y-Y ....	82
Figura 33 Derivas de la estructura en dirección X-X e Y-Y.....	83



## RESUMEN

La presente tesis titulada "Evaluación del comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel 2025", tuvo como objetivo evaluar el comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel 2025. Se empleó una metodología de enfoque cuantitativo, tipo aplicada, diseño no experimental. Se elaboraron dos modelos estructurales en el software ETABS, con las mismas peculiaridades geométricas y de carga, diferenciándose únicamente por el tipo de losa: convencional aligerada y pretensada. El análisis se realizó conforme al (RNE), específicamente las normas E.020 (Cargas), E.030 (Diseño Sismorresistente) y E.060 (Diseño de Concreto Armado). Se aplicaron análisis estático y dinámico modal espectral, evaluando cargas, cortantes en la base, irregularidades estructurales y desplazamientos laterales. Los resultados demostraron que ambos sistemas estructurales cumplen con los requisitos de la normativa vigente. La estructura con losa pretensada presentó una reducción de masa que permitió disminuir la demanda sísmica en términos de fuerzas cortantes y desplazamientos laterales. No obstante, se identificó una irregularidad de masa en el nivel P-4 del modelo con losa pretensada, no presente en la losa convencional. En ambos casos, las derivas sísmicas calculadas estuvieron dentro de los límites permisibles. Se concluye que el sistema estructural con losa pretensada es una alternativa viable y eficiente en zonas de alta sismicidad como Juliaca, siempre que se controle la masa y se eviten irregularidades. Ambos sistemas cumplen con el RNE, mostrando un desempeño estructural adecuado frente a sismos.

**Palabras clave:** Comportamiento sísmico, sistema aporticado, losa convencional, losa pretensada, ETABS, análisis modal espectral.



## ABSTRACT

The objective of this thesis, entitled "Analysis of the seismic behavior of a reinforced concrete frame structural system of a single-family home with conventional and prestressed slabs in the San Miguel 2025 district," The objective was to evaluate the seismic behavior of a 5-story reinforced concrete structural system with prestressed and conventional slabs in the province of San Miguel 2025. A quantitative, applied, non-experimental design methodology was used. Two structural models were developed in ETABS software, with the same geometric and load characteristics, differing only in the type of slab: conventional lightweight and prestressed. The analysis was carried out in accordance with the RNE (National Engineering Regulations), specifically standards E.020 (Loads), E.030 (Seismic Design), and E.060 (Reinforced Concrete Design). Static and dynamic spectral modal analyses were applied, evaluating loads, base shear, structural irregularities, and lateral displacements. The results showed that both structural systems comply with the requirements of current regulations. The prestressed slab structure showed a reduction in mass that allowed for a decrease in seismic demand in terms of shear forces and lateral displacements. However, an irregularity in mass was identified in level P-4 of the prestressed slab model, which was not present in the conventional slab. In both cases, the calculated seismic drifts were within the permissible limits. It is concluded that the prestressed slab structural system is a viable and efficient alternative in highly seismic areas such as Juliaca, provided that the mass is controlled and irregularities are avoided. Both systems comply with the RNE, showing adequate structural performance in the event of earthquakes.

**Keywords:** Seismic behavior, portal frame system, conventional slab, prestressed slab, ETABS, spectral modal analysis.



## INTRODUCCIÓN

En estas últimas décadas, el crecimiento urbano en zonas sísmicamente activas del Perú ha impuesto la necesidad de soluciones estructurales cada vez más eficientes y seguras sobre el diseño de edificaciones. En este sentido, la investigación sobre el comportamiento sísmico de los sistemas estructurales es vital, sobre todo en las ciudades del altiplano como Juliaca, donde la actividad sísmica es una amenaza permanente para la seguridad habitacional.

En el país, una de las soluciones más aplicadas en edificaciones de uno o más niveles es el sistema estructural aporticado de concreto armado, dado su alto grado de libertad tanto en el diseño como en la economía y, evidentemente, en la resistencia. No obstante, el tipo de losa utilizada juega un rol muy importante en el comportamiento de la estructura atente a cargas sísmicas. En la actualidad, interesa comparar el comportamiento de un sistema donde se le implementan losas convencionales, sea macizas o aligeradas, y otro que implementa losas pretensadas, los cuales, a pesar de tener ventajas, como que son más livianas y rígidas que las primeras, cuentan con desafíos técnicos al ser diseñadas y ejecutadas.

En un área de San Miguel, donde predomina la autoconstrucción y hay un déficit en la rigurosa aplicación de normativas técnicas, se vuelve decisivo comparar el desempeño sísmico de estructuras típicas de vivienda unifamiliar con diferentes soluciones de losa, con el fin de formar recomendaciones que promuevan diseños seguros y eficientes. Este trabajo propone el análisis del camino sísmico de un pórtico de C.A con losas convencionales y pretensadas, mediante simulaciones por análisis estático lineal y dinámico modal espectral, de acuerdo a la Norma Peruana E.030.

El estudio desentraña fuerzas cortantes, movimientos y irregularidades para orientar la arquitectura de hogares en áreas sísmicas moderadas a intensas.



**Capítulo I:** El principal desafío de la investigación finalmente se describe. Aquí, se incluye una descripción del contexto presente, una clara definición del problema de investigación y los objetivos específicos y generales. También se proporciona una explicación acerca de la importancia del estudio del tema y cómo se aplica experimentalmente al campo de estudio.

**Capítulo II:** En esta sección, se desarrollan y explican las ideas y frases claves que se emplearán en el trabajo. Además, se ofrecen definiciones extraídas de libros de autores relevantes y de publicaciones o fuentes fiables para comprender el idioma utilizado en el trabajo, así como asegurar la coherencia a lo largo del presente documento.

**Capítulo III:** En este apartado se detalla el tipo de investigación, el territorio y la población analizada, los propósitos concretos y las técnicas empleadas para recolectar y analizar los datos. También se describe cómo se utilizaron los instrumentos para garantizar que los resultados fueran legítimos y fiables.

**Capítulo IV:** Se presentan los resultados obtenidos gracias a la metodología utilizada. En cada paso se analizan los objetivos establecidos, se interpretan los datos y se reflexiona sobre lo que los hallazgos indican para la investigación.



## CAPÍTULO I

### EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Situación problemática.

A escala mundial, las construcciones de concreto armado con sistemas estructurales aporticados se emplean frecuentemente en edificaciones de uso residencial, debido a su adaptabilidad y capacidad resistente. No obstante, su desempeño frente a movimientos sísmicos continúa siendo un tema de análisis técnico, especialmente en zonas con alta actividad sísmica. Estudios recientes han resaltado la relevancia de incorporar distintos tipos de losas en el proceso de diseño estructural, como una estrategia efectiva para optimizar la respuesta sísmica de este tipo de edificaciones. (Cordero y Saldaña, 2024).

En el contexto peruano, la construcción de viviendas unifamiliares utilizando sistemas aporticados de concreto armado es una práctica común, y se observa con mayor profundidad en áreas urbanizadas. Sin embargo, son numerosas las edificaciones que se llevan a cabo sin un análisis estructural apropiado, lo que contribuye a su condición altamente vulnerable cuando se expone a eventos sísmicos. Estudios recientes han reflejado la significativa influencia de la selección del sistema de losacero en la respuesta estructural a sismos. Por lo tanto, es necesario asemejar ambos diseños de losaceros y

descubrir cuál de los dos es más eficiente y seguro en términos de comportamiento estructural. (Cruz, 2022).

En el distrito de San Miguel, perteneciente a la provincia de San Román, es común que las viviendas unifamiliares se edifiquen mediante sistemas estructurales aporticados de concreto armado. No obstante, la adopción de tecnologías estructurales como las losas pretensadas sigue siendo escasa, principalmente debido a la ausencia de investigaciones locales que analicen comparativamente su comportamiento sísmico frente a las losas tradicionales. Esta falta de evidencia técnica limita la capacidad de los profesionales del sector para tomar decisiones fundamentadas, lo que podría poner en riesgo la estabilidad estructural de construcciones en zonas caracterizadas por considerable actividad sísmica.

## 1.2 Planteamiento del problema.

### 1.2.1 *Problema General.*

¿Cómo es el comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel 2025?

### 1.2.2 *Problemas Específicos.*

1. ¿Cuáles son los parámetros mínimos para la determinación del comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel?
2. ¿Cuáles son las irregularidades estructurales mediante el análisis estático de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel?
3. ¿Cuáles son las fuerzas cortantes en la base por medio de un análisis dinámico modal espectral de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel?



4. ¿Cuáles son los desplazamientos laterales de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel?

### **1.3 Objetivos de la investigación.**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Evaluar el comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel 2025.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

1. Identificar los parámetros mínimos para la determinación del comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel.
2. Verificar las irregularidades estructurales mediante el análisis estático de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel.
3. Analizar las fuerzas cortantes en la base por medio de un análisis dinámico modal espectral de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel.
4. Verificar los desplazamientos laterales de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel.

## **1.4 Justificación de la investigación.**

### **1.4.1 Justificación Teórica**

La presente investigación contribuye al cuerpo teórico del diseño estructural y la ingeniería sísmica, al analizar y comparar el proceder de sistemas estructurales aporticados de concreto armado con dos tipologías de losas: convencionales y pretensadas. Este estudio parte del marco normativo peruano (NTC E.030 y E.060) y del conocimiento propuesto por autores como Chopra (2020), quien enfatiza que el tipo de losa incide elocuentemente en la distribución de cargas y en el control de desplazamientos laterales durante eventos sísmicos. En ese sentido, la investigación amplía el conocimiento sobre el papel estructural de las losas en sistemas aporticados y permite validar o cuestionar criterios estructurales asumidos comúnmente en la práctica. Asimismo, fomenta la aplicación del examen dinámico modal espectral en estructuras de baja altura, lo cual ha sido poco abordado en tesis de pregrado en contextos locales como San Miguel

### **1.4.2 Justificación Práctica**

Desde un enfoque aplicado, la investigación permite evaluar, mediante simulación estructural, el desempeño sísmico de una vivienda unifamiliar modelada con losas convencionales y, en paralelo, con losas pretensadas. Gracias a esta comparación técnica, los resultados obtenidos sobre las fuerzas cortantes, los desplazamientos laterales y la irregularidad estructural se lograrán de manera específica, de modo que sea de utilidad para los ingenieros proyectistas, docentes, egresados y constructores. Además, puede ser usado como una guía técnica para la producción de otros proyectos estructurales en el futuro, en caso de que se tomen decisiones en torno al tipo de losa a utilizar, siguiendo con la línea de la separable a nivel sísmico, funcional y económico.

### **1.4.3 Justificación Social**

El aporte de la investigación lleva de manera directa a la seguridad estructural de las viviendas en zonas sísmicas, tal como en el distrito de San Miguel, en la medida que



muchas edificaciones son resultados de la autoconstrucción o de intervenciones informales, sin asesoría técnica. Al determinar diferencias en procedimiento sísmico entre dos sistemas de losas, fortalece la capacidad de decisión técnica para elegir alternativas estructurales más seguras y sostenibles. Significa directamente una ayuda a la vida humana y a reajustarse en su peligro de colapso estructural ante sismos. Asimismo, y no menos importante, crea una cultura de prevención y diseño responsable en la industria de la construcción, en favor de las familias, las municipalidades y la comunidad en general.

#### **1.4.4 Justificación Económica**

Desde la perspectiva económica, esta investigación ayudará a comparar no solo el comportamiento estructural, sino también las implicaciones de costo asociadas con el uso de losas convencionales y pretensadas. Si bien las losas pretensadas requieren más tecnología y mano de obra especializada, podrían resultar en cargas estructurales reducidas y secciones reducidas en vigas y columnas, lo que debería posiblemente reflejarse en ahorros de acero y concreto. En general, los resultados permitirán evaluar la viabilidad de ambas soluciones en términos de esfuerzo en relación con los costos asociados. Esta cosa es crítica para las viviendas de bajo a mediano presupuesto. Ambos diseñadores y propietarios beneficiarían de la investigación.

#### **1.4.5 Justificación Ambiental**

Dado que, en muchos casos, las losas pretensadas requieren menos concreto y acero por metro cuadrado en comparación con las losas convencionales, es muy posible que las losas pretensadas reduzcan el impacto ambiental del producto final, disminuyendo la huella de carbono asociada con ella. Del mismo modo, un diseño estructural optimizado usa pocos recursos naturales y genera menos residuos, lo que apoya los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 11. Según la Oficina del ODS, el ODS 11 apoya "objetivos de sostenibilidad ideales en materia de energía, emisión de carbono y materiales", mientras que el ODS 9 apoya la "infraestructura sostenible plenamente



integrada". Por lo tanto, la investigación apoya indirectamente las prácticas de construcción sostenibles.

## **1.5 Hipótesis de la Investigación.**

### **1.5.1 Hipótesis General.**

El comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel 2025, variará significativamente.

### **1.5.2 Hipótesis Específicas.**

1. Los parámetros mínimos para la determinación del comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel, serán similares para ambos análisis.
2. Las irregularidades estructurales mediante el análisis estático de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel, se presentarán en planta y en altura.
3. Las fuerzas cortantes en la base por medio de un análisis dinámico modal espectral de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel, estarán dentro de las cortantes aceptables.
4. Los desplazamientos laterales de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel, cumplirán en ambos sistemas.

## **1.6 Variables e indicadores.**

### **1.6.1 Variable de Caracterización**

Losas pretensadas y losas convencionales



## **Indicadores:**

- Armado tradicional de losa convencional
- Pretensados con aceros de losa pretensada

### **1.6.2 Variable de Interés**

Comportamiento sísmico de sistema estructural aporticado de concreto

## **Indicadores:**

- Parámetros mínimos
- Irregularidades estructurales
- Fuerzas cortantes
- Desplazamientos laterales

## 1.7 Variables e indicadores

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición	Dimensión	Indicadores	Inst. medición	Tipo
<b>V. Caracterización:</b>  Losas convencionales y pretensadas	Se refiere a los sistemas estructurales de concreto armado que utilizan losas convencionales (tradicionales) o pretensadas (con cables de tensión).	Losa convencional  Losa pretensada	Armado tradicional de losa convencional  Pretensados con aceros de losa pretensada	Planos estructurales  Especificaciones técnicas	Ordinal
<b>V. Interés:</b>  Comportamiento sísmico de sistema estructural aporticado	Describe la capacidad de los sistemas estructurales aporticados para resistir fuerzas sísmicas, evaluando desplazamientos, esfuerzos y deformaciones.	Desempeño estructural	Parámetros mínimos  Irregularidades estructurales  Fuerzas cortantes  Desplazamientos laterales	Simulaciones sísmicas (ETABS) RNE E-030	Ordinal



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la investigación.

##### 2.1.1 *Antecedentes Internacionales.*

Según Cordero y Saldaña (2024) en su estudio "Diseño de viviendas de dos niveles con sistema aporticado y de confinamiento aplicando elementos finitos en Santa Elena". Este proyecto se centró en un sistema estructural compuesto, construido específicamente para una residencia ubicada en la región costera de la provincia de Santa Elena, Ecuador. Este conocimiento se obtuvo a partir del contexto mencionado. Esta idea surge de la necesidad generalizada de crear viviendas lo suficientemente resilientes como para resistir eventos sísmicos y condiciones ambientales adversas, garantizando al mismo tiempo la seguridad de sus residentes y minimizando los gastos de mantenimiento a largo plazo. Durante la investigación, se realizó una evaluación exhaustiva de diferentes enfoques de construcción. Además, se aplicó un software de elementos finitos para modelar el comportamiento estructural del sistema presentado. Para garantizar la fiabilidad y seguridad del edificio, este modelado se realizó con sumo cuidado y de conformidad con las normas técnicas más actuales, tanto nacionales como internacionales. Se demostró que el sistema compuesto presenta una mayor capacidad de absorción de cargas sísmicas y una significativa mejora en la durabilidad gracias a la reducción de los efectos de la



corrosión. Los hallazgos demostraron un rendimiento muy superior al de los sistemas tradicionales. Este descubrimiento no solo refuerza el concepto inicial, sino que también facilita la adopción de este tipo de sistema en otras zonas costeras con condiciones comparables. Esto permitirá el desarrollo de edificios no solo más seguros, sino también más ecológicos.

Según Gómez (2022). Su estudio "Diseño y análisis estructural dinámico no lineal de viviendas de dos pisos utilizando el método constructivo Steel Framing con una losa de entrepiso Steel Deck aplicando la norma ecuatoriana de la construcción y el código ACI 318-19". Esta evaluación considera la reacción del sistema estructural a eventos sísmicos específicos. Para lograr este objetivo, el proyecto se adhirió a las normas descritas en la NEC 2015, así como a las especificaciones de diseño estructural descritas en la norma AISI. Esto garantizó un enfoque técnico riguroso y actualizado. Además, se utilizaron aplicaciones de software como AutoCAD para crear el plano arquitectónico y SAP 2000 para diseñar y analizar los componentes estructurales. Debido a la efectividad estructural de las estructuras de acero y su adaptabilidad a entornos sísmicos, el proyecto se centró en un sistema de construcción con perfiles de acero galvanizado. Las estructuras de acero deben su nombre a este método de construcción. Tras la recopilación de las normas técnicas y la selección de los datos sísmicos pertinentes, el proceso de diseño estructural comenzó con un análisis dinámico lineal para crear un punto de referencia, seguido de un análisis no lineal de la historia del tiempo. Para este último, se utilizaron acelerogramas auténticos de la provincia de Santa Elena y otras ciudades costeras, como Guayaquil, La Libertad y Manta. En particular, se utilizaron registros sísmicos relacionados con el terremoto de Pedernales ocurrido en 2016.

Según Marquez (2022) en su estudio "Análisis comparativo del comportamiento estructural y económico de viviendas de varios pisos, diseñadas con sistema de mampostería confinada y sistema de pórticos". Para esta investigación, se realizó un

análisis comparativo exhaustivo del desempeño estructural y económico de viviendas de uno y dos pisos. La busca empleó una metodología aplicada que permitió realizar una evaluación técnica del desempeño estructural y los costos asociados a cada sistema. La información recopilada se derivó de los resultados del estudio estructural y el diseño de viviendas típicas, considerando las condiciones particulares del suelo y las necesidades sísmicas de la ciudad de San José de Cúcuta, ubicada en Colombia. Tanto la población como la muestra estuvieron representadas por estructuras reales de uno o dos pisos en esa ubicación. Esto permitió una simulación precisa del contexto constructivo local. Gracias a este estudio, fue posible construir y analizar viviendas de uno y dos pisos construidas con el método de mampostería restringida, considerando todos los requisitos técnicos y normativos pertinentes. El tercer paso consistió en una cuantificación exhaustiva de los elementos estructurales necesarios, que incluyó los volúmenes de hormigón. Fue fundamental realizar una comparación cuantitativa con el sistema de entramado para establecer una comparación económica. Si bien el sistema de entramado proporciona mayor flexibilidad y resiliencia a las cargas sísmicas, los resultados mostraron que la mampostería restringida es más rentable para viviendas de una sola planta. Esto se puso de manifiesto al observar variaciones sustanciales en términos de eficiencia estructural y rentabilidad. Gracias a este estudio, los profesionales del sector pueden tomar decisiones fundamentadas sobre la selección del sistema constructivo más adecuado para el proyecto, teniendo en cuenta las características del mismo y el presupuesto disponible.

### **2.1.2 Antecedente Nacionales.**

Según Cruz (2022) en su tesis "Comportamiento Estructural de una Vivienda de 4 Niveles con la Combinación del Sistema de Albañilería Confinada y Sistema Aporticado" Una vivienda de cuatro plantas en la ciudad de Jaén fue objeto de este estudio, cuyo objetivo era investigar el comportamiento estructural del edificio. Utilizando una combinación de mampostería constreñida y pórticos de hormigón armado (denominado "sistema de pórticos"). Para lograr este objetivo, se desarrolló una técnica cuantitativa que



permitió una investigación exhaustiva de las reacciones estructurales en diversas configuraciones. Esta metodología incluyó alcances tanto descriptivos como analíticos. Estos tres sistemas estructurales (de pórticos, de mampostería constreñida y el sistema combinado) se sometieron a una investigación comparativa de su comportamiento sísmico como parte de la investigación. El comportamiento de cada modelo se evaluó mediante análisis elástico lineal, y los resultados se presentaron en el programa estructural ETABS 2018 mediante modelos tridimensionales. Gracias a esto, se pudieron observar métricas importantes, como desplazamientos, fuerzas internas, cortantes y momentos flectores, lo que proporcionó una base sólida para la comparación de diferentes sistemas. Sin embargo, se ha descubierto que el sistema de mampostería confinada, al utilizarse por sí solo, ofrece resultados superiores en cuanto a la reducción de fuerzas internas, incluyendo cortante, momentos y desplazamientos. Esto no solo implica que este sistema es físicamente eficiente, sino que también es más económico en cuanto a los materiales utilizados y la simplicidad de su construcción. La investigación sugiere que, en este sentido, la mampostería confinada debería considerarse una alternativa viable para edificaciones de mediana altura en zonas sísmicamente activas como Jaén. Sin embargo, es importante destacar que el sistema combinado no debe descartarse en situaciones donde se requieren mayores niveles de rigidez o cuando se proponen diseños arquitectónicos más complejos.

Según Merino y Meza (2022) en su tesis "Evaluación del Comportamiento Sismorresistente de un Edificio de Concreto Armado de 04 Niveles Empleando la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente Ubicado en la Urbanización Las Flores, Jaén – 2021". Con un enfoque técnico y analítico, la técnica empleada en esta investigación se basó en la recopilación de información in situ de una vivienda existente. Esta información permitió comprender las características estructurales reales de la vivienda. El modelado estructural del sistema de pórticos se realizó posteriormente con la ayuda del software especializado SAP2000, considerando las circunstancias sísmicas locales y las



especificaciones de la legislación vigente. Mediante este procedimiento, se interpretaron los resultados del análisis estructural, se compararon con los límites estipulados en la normativa y se evaluaron las posibles deficiencias. Se elaboraron planes de mejora basados en los resultados obtenidos con el fin de garantizar que la integridad estructural del edificio no se viera comprometida en caso de terremoto. Durante la investigación, se descubrió que el sistema de estructura inicial presentaba un rendimiento estructural inadecuado cuando se sometía a cargas sísmicas. En concreto, superaba el valor límite de desplazamiento entre pisos autorizado por la normativa, que era inferior a 0,007, lo que indicaba que era propenso a movimientos laterales. La Propuesta 1 replicó el predimensionamiento de la estructura original y produjo resultados comparables, pero no cumplió con los requisitos normativos. La Propuesta 2 introdujo un sistema dual compuesto por pórticos y placas de corte estratégicamente distribuidas a lo largo de los ejes X e Y. Ambas soluciones respondieron a los requisitos normativos. Con la implementación de esta segunda solución, se logró un aumento considerable de la rigidez del sistema, lo que redujo las derivas a niveles aceptables, de acuerdo con los requisitos, se determinó que el edificio, en su estado actual, requiere refuerzo para añadir elementos estructurales adicionales, como placas de corte o muros.

Según Cusi (2022) en su tesis titulada "Evaluación y comportamiento estructural de un proyecto de vivienda unifamiliar de cuatro niveles, ubicado en el Sector Viñani II, Tacna 2022", El objetivo principal de esta investigación fue revisar y analizar el comportamiento sísmico de un proyecto estructural. La normativa establecida en el (RNE) del país sirvió de referencia. Para preparación de la tesis, fue necesario identificar adecuadamente los parámetros del proyecto, el tipo y grado de estudio, así como el público objetivo y su ubicación geográfica. Esto se realizó para garantizar la precisión. Se utilizó el software ETABS versión 2019.1 para realizar cálculos estructurales precisos y un análisis exhaustivo de la documentación como parte de las metodologías de recopilación de datos. Se emplearon tablas de datos, diseños estructurales y hojas de cálculo de Excel para



analizar y organizar la información. Estos datos se hallan dentro del límite máximo permitido de 0,005, prescrito por la norma E.030. Sin embargo, en circunstancias sísmicas severas, se descubrió que la estructura presentaba una considerable irregularidad torsional, lo que representaba una amenaza sustancial para la estabilidad del edificio. En cuanto a la construcción estructural del edificio, este contaba con muros de cuerda de 14 centímetros de espesor y testeros de 24 centímetros. Además, incluía losas ligeras unidireccionales con una altura constante de 20 centímetros en toda la estructura. Se descubrió que el diseño de las columnas presentaba una deficiencia grave, ya que presentaba un comportamiento deficiente al ser sometidas a la interacción flexión-compresión. No se realizó un análisis modal adecuado, ya que el modelo no cumple con los criterios mínimos de la norma E.030 para el diseño sismorresistente. Esto se debe, en particular, a que los tres primeros modos principales del sistema no se consideran adecuadamente.

Según Asenjo (2022) en su tesis "Análisis Comparativo de Costos y Tiempo Entre Sistemas Estructurales Aporticado y Albañilería Confinada de una Edificación en el Distrito de Jaén – 2021". Mediante la aplicación del sistema de doble pórtico y el sistema de mampostería restringida a una estructura de cinco pisos con una superficie construida de 180 metros cuadrados, el objetivo principal de este estudio fue evaluar los precios y los plazos de ejecución de dos sistemas estructurales utilizados en edificios de mediana altura. El diseño y el modelado estructural de ambas alternativas, la elaboración de planos arquitectónicos y estructurales, el cálculo de las mediciones estructurales, la elaboración de presupuestos detallados y el cronograma de construcción fueron componentes de la metodología empleada para lograr este objetivo. La metodología se basó en el procedimiento hipotético-deductivo. Esta técnica permitió realizar un estudio comparativo exhaustivo que consideró los componentes técnicos, económicos y de planificación de la situación. Este enfoque también facilitó la realización de una evaluación objetiva basada en evidencia tangible. Se encontró una diferencia considerable en los precios, con una

variación favorable de S/. 138,501.48 a favor del sistema de pórtico. Además, se observaron variaciones en los plazos de ejecución de los elementos esenciales. Los datos obtenidos demostraron una diferencia notable. El empleo del sistema de entramado resultó en una reducción de hasta 18 días en la ejecución de componentes relacionados con movimiento de tierras y hormigón simple, así como una reducción de dos días en la ejecución de componentes mayoritariamente de hormigón armado. Esta alternativa resultó ser aproximadamente un 35,54 % más rentable en términos porcentuales, y también logró una reducción del 1,85 % en el tiempo total requerido para la ejecución de los componentes principales. Debido a su mayor eficiencia y menor tiempo de construcción, el sistema de entramado se puede recomendar para edificios de cinco plantas. Debido a su idoneidad técnica y económica para proyectos de menor envergadura, se utiliza mampostería restringida para estructuras de hasta tres plantas.

### **2.1.3 Antecedentes locales.**

Según Bustinza (2022) en su tesis "Vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico de edificaciones de concreto armado y albañilería de la "Urbanización Enace" - Puno, simulados numéricamente en escenarios sísmicos". El modelado numérico de escenarios sísmicos en edificaciones de hormigón armado (con entramado) y mampostería es una herramienta esencial para calcular la susceptibilidad y el peligro sísmicos. Estos son componentes esenciales para una reducción exitosa del riesgo en regiones propensas a terremotos. La zona residencial Enace, ubicada al sur de Puno, fue elegida para este escenario particular debido a la rápida e incontrolada proliferación de estructuras autoconstruidas, la mayoría de las cuales son de mampostería, y a la falta de asistencia técnica especializada en muchas de estas construcciones. Según la Norma E030-2018, Puno se halla zona sísmica designada como de niveles 2 y 3, lo que indica una actividad sísmica significativa suficiente para causar daños graves o el posible colapso de la estructura. Esto pone en peligro tanto vidas humanas como bienes económicos. El propósito de este estudio fue proporcionar información que permitiera la adopción de



acciones preventivas y correctivas. La investigación se centró en la evaluación de la vulnerabilidad, el peligro y el riesgo sísmico de nueve viviendas típicas de hormigón armado y mampostería en el desarrollo residencial descrito anteriormente. Se empleó un enfoque híbrido para evaluar la susceptibilidad sísmica de las viviendas. Este enfoque implicó la recopilación y análisis de valores obtenidos mediante fichas técnicas durante inspecciones exhaustivas de las viviendas, así como la utilización de modelos numéricos con la ayuda del software ETABS. Esto permitió modelar el comportamiento de la estructura ante movimientos sísmicos, así como estimar la probabilidad de colapso del edificio. La respuesta sísmica local se recopiló mediante registros de pruebas SPT (Prueba de Penetración Estándar), que posteriormente se procesaron con el software DEEPSOIL. Este programa considera las propiedades particulares del suelo, así como su amplificación sísmica. Esto se realizó para evaluar la amenaza sísmica. Los resultados combinados del estudio cualitativo y cuantitativo revelan que la vulnerabilidad sísmica de las estructuras evaluadas es alta, alcanzando el 56%, mientras que la amenaza sísmica estimada es media, del 43%. Por lo tanto, los edificios son muy vulnerables a los terremotos. Como consecuencia, el riesgo sísmico de las viviendas evaluadas se considera alto. Esto pone de manifiesto la urgente necesidad de implementar medidas de mejora estructural, supervisión técnica y planificación urbana que limiten la vulnerabilidad de estas estructuras a futuros eventos sísmicos y fortalezcan su resistencia ante tales fenómenos.

## **2.2 Bases teóricas.**

### **2.2.1 Comportamiento sísmico de estructuras.**

El desempeño sísmico de una edificación se refiere a su capacidad para soportar, disipar y controlar la energía generada por un evento sísmico, evitando el colapso estructural y reduciendo al mínimo los daños que puedan afectar la integridad de sus componentes y la seguridad de los usuarios. Esta respuesta dinámica está influenciada por múltiples factores tanto estructurales como geotécnicos y topográficos, entre los que destacan la masa total del edificio, su rigidez, el sistema de diafragmas, las conexiones

estructurales, la distribución de cargas, el tipo de cimentación, las características del suelo y la magnitud e intensidad del sismo. (Merino y Meza, 2022).

#### **2.2.1.1. Fundamentos del comportamiento sísmico en edificaciones**

El comportamiento sísmico de las edificaciones de concreto armado se refiere a su capacidad para resistir los efectos dinámicos provocados por un movimiento sísmico sin sufrir fallos estructurales significativos. Este comportamiento depende del diseño arquitectónico, la configuración estructural, los materiales utilizados y las características dinámicas del terreno. Las estructuras deben ser capaces de disipar la energía sísmica mediante mecanismos como la ductilidad, la redistribución de esfuerzos y la capacidad de deformación plástica. (Cruz, 2022)

#### **2.2.1.2. Principios estructurales de los sistemas aporticados frente a acciones sísmicas**

Los sistemas aporticados están compuestos por marcos de vigas y columnas articuladas o monolíticas, los cuales proporcionan resistencia y estabilidad lateral mediante el trabajo conjunto de sus elementos. Ante cargas sísmicas, estos sistemas se enfrentan a fuerzas laterales repetitivas que inducen desplazamientos y deformaciones. Para responder eficientemente, los sistemas aporticados deben tener una distribución equilibrada de rigidez y resistencia en planta y elevación. El principio fundamental es que estos marcos deben poseer suficiente ductilidad para absorber energía mediante deformaciones plásticas sin colapsar, lo que implica un diseño adecuado de detalles estructurales, empalmes y conexiones. (Asenjo, 2022)

#### **2.2.1.3. Influencia de la rigidez y la ductilidad en marcos estructurales ante sismos**

La rigidez y la ductilidad son propiedades clave que definen el comportamiento sísmico de los sistemas aporticados. La rigidez permite limitar los desplazamientos laterales y controlar la deriva interpisos, mientras que la ductilidad se refiere a la capacidad

de un elemento estructural de deformarse más allá del punto elástico sin perder su resistencia. Una estructura muy rígida puede atraer mayores fuerzas sísmicas, pero si carece de ductilidad podría colapsar prematuramente. Por otro lado, una estructura altamente dúctil puede disipar más energía, aunque experimente mayores deformaciones. El balance óptimo entre rigidez y ductilidad es esencial para garantizar un buen desempeño sísmico sin comprometer la seguridad de los ocupantes. (Marquez, 2022)

#### **2.2.1.4. Mecanismos de disipación de energía en estructuras aporticadas**

Durante un evento sísmico, una parte significativa de la energía inducida por el movimiento del terreno debe ser disipada por la estructura para evitar daños severos. En los sistemas aporticados, la disipación de energía ocurre a través del comportamiento plástico de las vigas y columnas, especialmente en las zonas de rótula plástica. Además, elementos no estructurales como muros de cerramiento también contribuyen a este proceso. En diseños más avanzados, se pueden incorporar disipadores sísmicos (viscosos, metálicos o de fricción) que mejoran la capacidad de absorción energética del sistema. Estos mecanismos reducen la demanda de deformación en los elementos principales y prolongan la vida útil estructural. (Gómez, 2022)

#### **2.2.1.5. Respuesta dinámica de estructuras aporticadas sometidas a excitaciones sísmicas**

La respuesta dinámica de una estructura aporticada ante un sismo depende de sus propiedades de masa, rigidez y amortiguamiento. Esta respuesta se manifiesta como desplazamientos, aceleraciones y fuerzas internas que varían en función de la frecuencia del movimiento sísmico y de la configuración del sistema estructural. La interacción entre la frecuencia propia de la estructura y la del sismo puede provocar efectos de resonancia, amplificando significativamente las solicitaciones. Por ello, es necesario realizar análisis dinámicos modales y espectrales para comprender el comportamiento vibratorio y diseñar estructuras que eviten estos efectos perjudiciales. (Cusi, 2022)

#### **2.2.1.6. Factores que afectan la vulnerabilidad sísmica en edificaciones aporticadas**

La vulnerabilidad sísmica de una edificación se refiere a su propensión a sufrir daños estructurales o colapso durante un sismo. Estas vulnerabilidades aumentan considerablemente en los sistemas con pórticos debido a una serie de variables, entre las que se incluyen irregularidades geométricas (en planta o alzado), defectos de construcción, falta de confinamiento en los elementos, conexiones débiles, materiales de baja calidad y diseños insuficientes. Otro aspecto que puede ser crucial es la antigüedad de los edificios, así como el incumplimiento de las normas relativas a la actividad sísmica. Es fundamental identificar y abordar estos elementos con el fin de reducir los riesgos y mejorar la seguridad estructural de las estructuras existentes. (Bustinzá, 2022)

#### **2.2.1.7. Interacción suelo-estructura en sistemas aporticados bajo carga sísmica**

La interacción suelo-estructura es un fenómeno que influye directamente en la respuesta sísmica de los edificios. El movimiento del terreno no se transmite de manera uniforme a la base de la estructura, y esto depende de la rigidez relativa entre el suelo y la cimentación. En estructuras aporticadas, un suelo blando puede amplificar los desplazamientos y modificar la frecuencia natural del sistema, generando una respuesta más severa. Por esta razón, los estudios geotécnicos y el modelado conjunto del suelo y la estructura son esenciales para un diseño más preciso y seguro. (Bustinzá, 2022)

#### **2.2.1.8. Comportamiento de diafragmas rígidos en sistemas de marcos estructurales**

Los diafragmas, típicamente losas de entrepiso o de techo, desempeñan un rol crucial en la distribución de las fuerzas sísmicas horizontales hacia los elementos resistentes verticales (vigas y columnas). En los sistemas aporticados, los diafragmas rígidos ayudan a garantizar una respuesta estructural más uniforme y simétrica, reduciendo los efectos torsionales no deseados. Su comportamiento depende del espesor, tipo de material, refuerzo y método constructivo. Un diseño adecuado del diafragma mejora la

transferencia eficiente de cargas y contribuye a la estabilidad global de la estructura durante un evento sísmico. (Sthapit et al., 2023)

#### **2.2.1.9. Comparación entre sistemas aporticados simples y aporticados con muros estructurales**

Mientras que los sistemas aporticados simples dependen únicamente de vigas y columnas para resistir las cargas laterales, los sistemas combinados con muros estructurales (muros de corte) ofrecen mayor rigidez y resistencia sísmica. Estos muros actúan como elementos verticales altamente rígidos que controlan el desplazamiento lateral y reducen la demanda de energía sobre los marcos. La integración de muros estructurales en el sistema aporta una mayor redundancia y ductilidad global, aunque implica un análisis estructural más complejo. La selección entre uno u otro sistema depende de las condiciones arquitectónicas, funcionales y del nivel de amenaza sísmica. (Patel y Patel, 2025)

#### **2.2.1.10. Modelado estructural y simulación sísmica en marcos aporticados**

El modelado estructural es una herramienta indispensable para prever la respuesta sísmica de las edificaciones. En los marcos aporticados, los modelos tridimensionales permiten simular la interacción entre los elementos estructurales bajo cargas dinámicas. Se utilizan softwares especializados como ETABS, SAP2000 o OpenSees, que incorporan análisis no lineales, efectos de segundo orden (P-Delta) y comportamiento inelástico. La simulación numérica ayuda a identificar zonas críticas, predecir rótulas plásticas y estimar la demanda sísmica, lo que resulta esencial para el diseño y la evaluación de desempeño. (Sajjanshetty y Galanna, 2023)

#### **2.2.1.11. Evaluación del desempeño sísmico mediante análisis modal espectral**

Los análisis modal espectral y tiempo-historia son técnicas avanzadas para evaluar el comportamiento sísmico de estructuras aporticadas. El análisis modal espectral

descompone la respuesta de la estructura en sus modos naturales de vibración, proporcionando una visión global de su comportamiento frente a movimientos sísmicos. El análisis tiempo-historia, por su parte, aplica registros sísmicos reales o artificiales directamente sobre la estructura, permitiendo observar su respuesta en el tiempo. Ambos métodos son útiles para validar diseños, estimar daños potenciales y verificar el cumplimiento con los objetivos de desempeño establecidos en normativas.

#### **2.2.1.12. Normativas sísmicas aplicables a sistemas estructurales aporticados en edificaciones**

El diseño sismorresistente en sistemas aporticados está regido por normativas técnicas que establecen criterios mínimos de seguridad. En Perú, la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" establece los lineamientos para considerar la acción sísmica en estructuras nuevas. A nivel internacional, códigos como el ACI 318, ASCE 7, y el Eurocódigo 8 ofrecen directrices para el diseño, detallado y evaluación sísmica de marcos estructurales. Estas normativas contemplan aspectos como la categoría de uso, zona sísmica, nivel de desempeño, ductilidad, tipo de análisis estructural, y requisitos mínimos de refuerzo, garantizando así un diseño seguro y funcional. (Quispe, 2023)

#### **2.2.1.13. Impacto de la irregularidad estructural en el comportamiento sísmico de marcos aporticados**

La irregularidad estructural puede ser una fuente crítica de vulnerabilidad en edificaciones aporticadas. Irregularidades en planta (formas en L, U, T) o en altura (cambios bruscos de rigidez o masa) pueden generar concentraciones de esfuerzos, torsión no deseada y fallas localizadas. Estas condiciones alteran la distribución de cargas y aumentan la respuesta sísmica en ciertos sectores de la estructura. El análisis detallado de estas irregularidades permite introducir soluciones como reforzamientos, cambios en la configuración estructural o el uso de disipadores para mejorar el desempeño sísmico y evitar colapsos progresivos. (Pérez, 2019)

#### **2.2.1.14. Diseño sismorresistente basado en desempeño para estructuras aporticadas**

El enfoque basado en desempeño (Performance-Based Seismic Design, PBSD) busca garantizar que una estructura cumpla con niveles específicos de comportamiento durante un sismo, como "operacional", "ocupación inmediata" o "colapso incipiente". En marcos aporticados, este enfoque implica considerar el comportamiento no lineal, las demandas de ductilidad, y los daños aceptables en distintos elementos estructurales. PBSD permite una evaluación más realista de los riesgos y una mejor toma de decisiones en el diseño, refuerzo o rehabilitación de edificios, priorizando la seguridad de los usuarios y la funcionalidad post-sismo. (Paikun et al., 2021)

#### **2.2.1.15. Estudios de caso sobre fallas y refuerzos en estructuras aporticadas post-sismo**

El análisis de fallas estructurales tras eventos sísmicos ha permitido identificar debilidades comunes en sistemas aporticados, como columnas cortas, detalles inadecuados de confinamiento, pandeo lateral de vigas, y falta de continuidad estructural. A partir de estos estudios de caso, se han desarrollado estrategias de refuerzo que incluyen el uso de encamisados, materiales compuestos (FRP), vigas de acero suplementarias, y sistemas de aislamiento sísmico. Estos ejemplos reales no solo enriquecen el conocimiento técnico, sino que también ofrecen lecciones valiosas para la mejora continua de la práctica ingenieril en zonas de alta sismicidad. (Marquez, 2022)

### **2.2.2 *Sistemas Estructurales Aporticados***

#### **2.2.2.1. Concepto y evolución de sistemas estructurales aporticados**

Los sistemas estructurales aporticados, también conocidos como marcos resistentes, constituyen una de las tipologías más utilizadas en la ingeniería estructural para la construcción de edificaciones. Estos sistemas están conformados por una retícula de vigas y columnas interconectadas, que actúan de manera conjunta para soportar tanto

cargas verticales como horizontales. Su evolución ha estado marcada por el desarrollo de nuevos materiales, técnicas constructivas y criterios de análisis estructural. Desde sus inicios en estructuras de acero a principios del siglo XX hasta su masificación en concreto armado, estos sistemas han sido objeto de mejoras orientadas a incrementar la resistencia sísmica, la ductilidad y la eficiencia constructiva. (Ajmera y Sharma, 2023)

#### **2.2.2.2. Componentes principales de un sistema aporticado**

Los marcos aporticados están compuestos esencialmente por tres elementos estructurales: vigas, columnas y uniones. Las vigas se encargan de recibir y transferir las cargas de uso y del techo hacia las columnas; estas últimas transmiten esas cargas al sistema de cimentación. Las uniones o conexiones, por su parte, permiten el acoplamiento de vigas y columnas y pueden ser rígidas o articuladas, dependiendo del comportamiento estructural requerido. El correcto diseño e interacción de estos elementos resulta crucial para garantizar un buen desempeño bajo acciones sísmicas o gravitacionales. (Bustanza, 2022)

#### **2.2.2.3. Principio de funcionamiento estructural en marcos aporticados**

El principio fundamental que rige a los sistemas aporticados es el de la acción conjunta entre vigas y columnas para resistir esfuerzos. Este sistema distribuye las cargas horizontales principalmente a través de momentos flectores generados en las conexiones, por lo que su comportamiento es típicamente flexo-rígido. La rigidez del pórtico, su ductilidad y su capacidad de disipar energía son claves para mantener la estabilidad y evitar fallas durante eventos sísmicos. Además, los aporticados permiten una redistribución eficiente de esfuerzos en caso de sobrecarga o falla localizada. (Cusi, 2022)

#### **2.2.2.4. Distribución de cargas verticales y horizontales en sistemas aporticados**

En un sistema aporticado, las cargas verticales (peso propio, cargas muertas y vivas) se transmiten de losas a vigas, de vigas a columnas y finalmente a las

cimentaciones. Las cargas horizontales (como las sísmicas o por viento) inducen esfuerzos de corte y momentos en las uniones viga-columna, movilizando el marco completo. La capacidad del sistema para distribuir adecuadamente ambas acciones sin comprometer la estabilidad depende de su geometría, configuración y resistencia de materiales, además del adecuado modelado estructural. (Gómez, 2022)

#### **2.2.2.5. Comportamiento de marcos aporticados ante cargas sísmicas y gravitacionales**

Frente a cargas gravitacionales, los sistemas aporticados muestran un comportamiento predecible con deformaciones limitadas. Sin embargo, bajo acciones sísmicas, el sistema debe poseer una adecuada ductilidad, rigidez lateral y capacidad de disipar energía. La interacción entre columnas y vigas produce mecanismos de contrarrotación en las uniones, lo que mejora su desempeño si están adecuadamente confinadas. En zonas de alta sismicidad, se requieren diseños con refuerzo estructural y detalles específicos en las conexiones que aseguren una respuesta favorable ante movimientos telúricos. (Cordero y Saldaña, 2024)

#### **2.2.2.6. Tipos de sistemas aporticados: simples, dúctiles y con refuerzo estructural**

Los marcos aporticados pueden clasificarse en tres tipos: simples (donde la rigidez proviene únicamente del marco), dúctiles (diseñados para grandes deformaciones sin colapso) y reforzados (con elementos adicionales como diagonales o muros para aumentar la resistencia lateral). Cada tipo tiene ventajas y limitaciones en función del contexto estructural, económico y sísmico. La selección del tipo adecuado implica un análisis técnico detallado que considere los niveles de seguridad, el uso de la edificación y la normatividad vigente. (Al-sabaeei et al., 2023)

### **2.2.2.7. Influencia de la configuración geométrica en la respuesta estructural del pórtico**

La geometría de los marcos aporticados afecta directamente su comportamiento. Factores como la esbeltez de columnas, la longitud de las vigas, la disposición de los elementos y la regularidad en planta y elevación, condicionan la rigidez global y la distribución de esfuerzos. Marcos irregulares suelen presentar concentraciones de esfuerzos que pueden llevar a fallas prematuras. Por ello, la simetría y la regularidad geométrica son principios básicos en el diseño estructural eficiente y resistente a sismos. (Guettala et al., 2025)

### **2.2.2.8. Diseño estructural de marcos aporticados en concreto armado**

El diseño de pórticos en concreto armado debe considerar tanto cargas gravitacionales como laterales. Se realiza a partir de análisis elásticos y plásticos, considerando combinaciones de carga según el Reglamento Nacional de Edificaciones (E.060 y E.030). El dimensionamiento de secciones, el armado adecuado, el confinamiento de zonas críticas y la continuidad estructural son aspectos fundamentales para lograr un comportamiento seguro. Además, se emplean softwares especializados como ETABS, SAP2000 o CSI-Col para simular su comportamiento estructural. (Gupta y Gupta, 2024)

### **2.2.2.9. Comparación entre marcos aporticados y otros sistemas estructurales**

Comparados con sistemas de muros portantes o sistemas duales (pórtico + muro), los marcos aporticados ofrecen mayor flexibilidad arquitectónica y facilidad constructiva. Sin embargo, presentan menor rigidez lateral, lo que puede traducirse en mayores desplazamientos ante sismos. Los sistemas duales superan este inconveniente al combinar la ductilidad del marco con la rigidez de los muros. Por tanto, la elección del sistema estructural debe considerar el tipo de edificación, altura, funcionalidad y nivel de riesgo sísmico. (Melendez y Zocon, 2024)

#### **2.2.2.10. Rigidez, ductilidad y redundancia en sistemas estructurales aporticados**

La rigidez determina la capacidad del sistema para limitar desplazamientos, mientras que la ductilidad se relaciona con su habilidad de deformarse sin colapsar. La redundancia estructural, por otro lado, permite que el sistema mantenga su funcionalidad, aunque algunos elementos fallen. Los marcos aporticados deben diseñarse para lograr un equilibrio entre estos tres parámetros, garantizando no solo la resistencia frente a cargas, sino también la seguridad estructural ante eventos extremos. (Patel y Patel, 2025)

#### **2.2.2.11. Normativas técnicas aplicables al diseño de estructuras aporticadas (E.030, ACI 318)**

El diseño de sistemas aporticados está regulado por normas nacionales e internacionales. En el Perú, la Norma Técnica E.030 establece los criterios para el diseño sísmico resistente, mientras que la E.060 regula el diseño de concreto armado. A nivel internacional, el ACI 318 proporciona lineamientos específicos sobre dimensionamiento, disposición de acero y detalles de refuerzo. Estas normativas son fundamentales para garantizar que las edificaciones cumplan con los estándares de seguridad estructural, funcionalidad y durabilidad. (Sthapit et al., 2023)

#### **2.2.2.12. Modelado y simulación de sistemas aporticados mediante software estructural**

El modelado estructural permite prever el comportamiento de un sistema aporticado ante distintas solicitaciones. Herramientas como ETABS, SAP2000 o Robot Structural Analysis permiten simular cargas estáticas y dinámicas, evaluar desplazamientos, esfuerzos internos y modos de vibración. A través del análisis modal y espectral, se determina la vulnerabilidad del sistema frente a eventos sísmicos, optimizando el diseño estructural mediante iteraciones y comparaciones con las exigencias normativas. (Melendez y Zocon, 2024)

### **2.2.2.13. Vulnerabilidad estructural y mecanismos de falla en marcos aporticados**

La vulnerabilidad de un sistema aporticado se manifiesta en su susceptibilidad a sufrir daños significativos bajo cargas extremas. Las fallas más comunes incluyen pandeo de columnas, fallas por corte en las vigas, pérdida de capacidad en las conexiones y colapso progresivo. Estas fallas se pueden prevenir con un diseño detallado que contemple zonas críticas, ductilidad adecuada, confinamiento de elementos y una adecuada secuencia constructiva. La evaluación de vulnerabilidad es esencial para la gestión de riesgo sísmico. (Cruz, 2022)

### **2.2.2.14. Reforzamiento y rehabilitación de estructuras aporticadas en edificaciones existentes**

Las estructuras aporticadas que no cumplen con los estándares actuales pueden ser rehabilitadas mediante técnicas como el encamisado de columnas, el refuerzo con fibras de carbono, la instalación de disipadores sísmicos o el uso de pórticos adicionales. Estas intervenciones buscan mejorar la capacidad resistente, la rigidez o la ductilidad del sistema sin alterar significativamente la funcionalidad del edificio. El análisis previo de la estructura existente es esencial para diseñar un plan de reforzamiento efectivo y económico. (Almasabha y Al-Mazaidh, 2023)

### **2.2.2.15. Aplicaciones y eficiencia de los sistemas aporticados en edificaciones urbanas y rurales**

Los sistemas aporticados encuentran aplicaciones en una amplia gama de edificaciones: desde viviendas unifamiliares en zonas rurales hasta edificios multifamiliares o comerciales en zonas urbanas. Su versatilidad, simplicidad constructiva y posibilidad de adaptación a diversos entornos geográficos los convierten en una opción eficaz. En zonas rurales, su facilidad de construcción con mano de obra local es una ventaja, mientras que en entornos urbanos su compatibilidad con diseños arquitectónicos modernos favorece su masificación. (Sanchez, 2024)

### **2.2.3 Tipos de losa**

Las losas constituyen elementos estructurales planos de concreto armado que actúan principalmente como superficies horizontales dentro de una edificación. Su función principal es transmitir las cargas vivas y muertas desde su superficie hacia los elementos de soporte vertical, como vigas, columnas o muros portantes. Además de su papel estructural, las losas conforman los niveles habitables o de circulación, sirviendo como pisos o techos entre niveles. Desde un punto de vista estructural, su comportamiento depende de su rigidez, tipo de apoyo y el sistema estructural al que están integradas. El diseño de una losa debe considerar la distribución de cargas, el tipo de uso, las luces entre apoyos y los requerimientos normativos, garantizando la seguridad, funcionalidad y economía de la estructura. (Pérez, 2019)

#### **2.2.3.1. Según su comportamiento estructural**

Las losas pueden clasificarse en función de cómo resisten las cargas aplicadas. Una clasificación común las divide en losas unidireccionales, que transmiten esfuerzos principalmente en una sola dirección, y losas bidireccionales, que distribuyen los esfuerzos en dos direcciones ortogonales. Esta clasificación depende de la relación entre las longitudes de los lados y del tipo de apoyo. Asimismo, existen losas apoyadas (simplemente apoyadas o empotradas), losas nervadas, losas planas, y losas postensadas o pretensadas, cuya elección responde a las condiciones estructurales, espaciales y funcionales del proyecto. Cada tipo presenta ventajas específicas en cuanto a capacidad de carga, economía de materiales, facilidad constructiva y comportamiento sísmico.

#### **2.2.3.2. Losa maciza: características, ventajas y aplicaciones**

La losa maciza es un elemento de concreto armado de espesor uniforme, usualmente vaciado en obra, que presenta alta rigidez estructural. Se caracteriza por su facilidad de ejecución y comportamiento robusto ante cargas distribuidas, siendo ideal para edificios de baja y mediana altura. Entre sus ventajas se encuentra la buena resistencia a

cargas gravitacionales, el buen aislamiento acústico y su capacidad de funcionar como diafragma rígido ante cargas horizontales. Es muy utilizada en edificaciones convencionales, como viviendas, oficinas y pequeñas industrias, aunque su peso propio es mayor que el de otros tipos de losas, lo que debe considerarse en zonas sísmicas o en estructuras con restricciones de carga. (Marquez, 2022)

#### **2.2.3.3. Losa aligerada: tipos, materiales y eficiencia estructural**

Las losas aligeradas incorporan elementos de relleno no estructurales (como bloques de tecnopor, poliestireno expandido, ladrillos u otros materiales livianos) para reducir el peso propio sin comprometer su capacidad estructural. Estas losas suelen ser vaciadas en obra con un sistema de nervaduras que las convierte en losas unidireccionales o bidireccionales. Su principal ventaja radica en la eficiencia estructural, ya que disminuyen las cargas gravitacionales transmitidas a la cimentación, permitiendo luces mayores con menos material. Son ideales para proyectos donde se busca economía en materiales y rapidez constructiva, con buen desempeño sísmico si están bien diseñadas. (Asenjo, 2022)

#### **2.2.3.4. Losa nervada o reticular: comportamiento y uso en grandes luces**

Las losas nervadas, también conocidas como losas reticulares o waffle slabs, son losas que presentan un sistema ortogonal de nervaduras que les confiere gran capacidad portante y permite cubrir grandes luces. Estas nervaduras se comportan como vigas integradas en dos direcciones, distribuyendo las cargas de manera eficiente. Se utilizan principalmente en edificaciones con requerimientos arquitectónicos de espacios abiertos o con altos niveles de carga, como centros comerciales, auditorios y estacionamientos. Su construcción requiere encofrados especializados, pero a cambio proporciona una excelente rigidez, menor peso que una losa maciza de igual resistencia y un atractivo acabado arquitectónico. (Cruz, 2022)

### **2.2.3.5. Losa prefabricada: sistemas modernos y ventajas constructivas**

Las losas prefabricadas son elementos estructurales fabricados fuera del sitio de obra y luego transportados e instalados en el proyecto. Este sistema constructivo moderno permite una notable reducción en los tiempos de ejecución, mayor control de calidad y menor generación de residuos en obra. Existen diversos tipos, como losas alveolares, pretensadas o compuestas. Su uso está creciendo en edificaciones modulares, viviendas industriales, almacenes y estructuras temporales. Su principal ventaja radica en la estandarización del proceso, la posibilidad de fabricación en condiciones óptimas y la aceleración del cronograma de obra, aunque requiere una adecuada planificación logística y coordinación entre diseño y producción. (Guettala et al., 2025)

### **2.2.3.6. Losa pretensada y postensada: principios, tipos y beneficios estructurales**

La losa pretensada y la postensada pertenecen al grupo de estructuras con tensado de cables de acero para generar esfuerzos de compresión previos que contrarrestan las tensiones inducidas por las cargas externas. La diferencia entre ambas radica en el momento en que se aplica el tensado: antes o después del vaciado del concreto. Este sistema permite reducir las secciones de concreto, cubrir mayores luces sin necesidad de apoyos intermedios, minimizar fisuras y aumentar la durabilidad estructural. Son ideales en estructuras con grandes vanos, pisos elevados o estructuras expuestas a altas cargas, como puentes y estacionamientos, destacando también su buen desempeño frente a cargas cíclicas. (Gupta y Gupta, 2024)

### **2.2.3.7. Comparación técnica entre losas convencionales y losas pretensadas**

Desde el punto de vista técnico, las losas convencionales ofrecen simplicidad constructiva y son adecuadas para edificaciones de pequeña y mediana escala, mientras que las losas pretensadas permiten un diseño más eficiente para cubrir mayores luces y reducir el espesor estructural. Las losas convencionales tienden a requerir mayor cantidad de acero de refuerzo pasivo, mientras que las pretensadas emplean cables de acero de

alta resistencia bajo tensado. En términos sísmicos, las pretensadas pueden presentar mayor rigidez inicial, pero requieren especial atención en las conexiones. En resumen, la elección entre una u otra dependerá de las exigencias arquitectónicas, estructurales y económicas del proyecto. (Merino y Meza, 2022)

#### **2.2.3.8. Influencia del tipo de losa en el comportamiento sísmico de una estructura**

El tipo de losa seleccionado en una edificación incide directamente en su comportamiento sísmico. Las losas que actúan como diafragmas rígidos contribuyen a distribuir las cargas horizontales hacia los elementos verticales resistentes, como muros y columnas. Las losas macizas y nervadas suelen tener un mejor desempeño ante sismos debido a su continuidad y rigidez, mientras que las aligeradas deben diseñarse con especial cuidado para evitar discontinuidades. Las losas postensadas requieren un diseño detallado para garantizar ductilidad y evitar fallas frágiles. En general, el comportamiento sísmico óptimo se logra cuando las losas son capaces de mantener su integridad y transmitir fuerzas de manera eficiente durante un evento sísmico. (Pérez, 2019)

#### **2.2.3.9. Criterios de selección del tipo de losa según carga, luz y uso**

El proceso de selección del tipo de losa más adecuado para una estructura depende de múltiples factores, como las cargas de servicio, las dimensiones de las luces entre apoyos, la funcionalidad del espacio, los requerimientos arquitectónicos, el presupuesto y la disponibilidad de materiales. Por ejemplo, para luces cortas y cargas moderadas se prefiere losas macizas, mientras que para luces mayores y eficiencia de materiales se opta por losas aligeradas o reticulares. En edificaciones industriales, las losas prefabricadas o postensadas pueden representar ventajas en tiempos y costos. Una correcta selección técnica optimiza la seguridad estructural, la durabilidad y la eficiencia constructiva del proyecto. (Cusi, 2022)

#### **2.2.3.10. Análisis de rigidez y deformabilidad en los diferentes tipos de losas**

La rigidez de una losa determina su capacidad para resistir deformaciones bajo cargas aplicadas, siendo una propiedad crítica en el diseño estructural. Losas más rígidas, como las macizas o reticulares, presentan menores deflexiones y mejor control de fisuras, lo que es deseable en edificaciones de múltiples pisos o con requerimientos de control de vibraciones. Por el contrario, losas aligeradas o prefabricadas pueden tener mayor deformabilidad si no están correctamente diseñadas. El análisis estructural debe evaluar la rigidez relativa entre la losa y el sistema de soporte, para evitar problemas de incompatibilidad estructural que puedan comprometer el desempeño global de la edificación. (Bustinza, 2022)

#### **2.2.3.11. Determinación del espesor de losas: factores estructurales y normativos**

El espesor de una losa depende de factores como la carga de diseño, la luz entre apoyos, el tipo de losa, las condiciones de apoyo, la durabilidad requerida y las normas técnicas vigentes. Normativas como el ACI 318 o el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú establecen criterios mínimos de espesor y procedimientos de verificación mediante análisis estructural. El uso de software especializado permite optimizar el espesor en función de los esfuerzos, deflexiones admisibles y resistencia al punzonamiento. Un espesor adecuadamente calculado garantiza un buen desempeño estructural sin incurrir en sobrecostos ni fallas prematuras. (Cordero y Saldaña, 2024)

#### **2.2.3.12. Eficiencia económica y constructiva de los distintos tipos de losas**

Cada tipo de losa presenta ventajas y desventajas económicas y constructivas que deben ser evaluadas en la etapa de diseño. Las losas macizas son simples de ejecutar, pero consumen más material; las aligeradas reducen el peso propio, permitiendo cimentaciones más económicas; las losas reticulares ofrecen resistencia con menor espesor, aunque requieren moldes complejos; las prefabricadas permiten industrializar la construcción, pero implican costos logísticos; y las postensadas, aunque más costosas en



diseño, reducen costos de materiales estructurales y mantenimiento. Una evaluación integral de costos y beneficios es clave para lograr eficiencia en el diseño y ejecución del sistema de losas. (Gómez, 2022)

### **2.2.3.13. Normativa técnica aplicable al diseño y ejecución de losas estructurales**

El diseño de losas está regulado por normativas técnicas nacionales e internacionales que aseguran su seguridad, funcionalidad y durabilidad. Entre las más utilizadas se encuentran el ACI 318, el Eurocódigo 2 y el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (E.060 y E.030). Estas normas especifican procedimientos de diseño, límites de flecha, requisitos de refuerzo, criterios de fisuración y condiciones de durabilidad. Además, establecen las exigencias para distintos tipos de losas según el uso y la zona sísmica. Cumplir con la normativa vigente no solo garantiza la estabilidad estructural, sino también la compatibilidad con inspecciones técnicas y la viabilidad legal del proyecto. (Pérez, 2019)

### **2.2.3.14. Tecnologías innovadoras en losas para edificaciones sostenibles**

La innovación tecnológica ha permitido el desarrollo de losas estructurales con criterios de sostenibilidad, eficiencia energética y economía circular. Entre estas se encuentran las losas con fibras recicladas, sistemas compuestos de concreto y acero, losas con incorporación de cenizas volantes, geopolímeros o residuos industriales. Estas tecnologías buscan reducir la huella de carbono, aumentar la durabilidad y optimizar el uso de materiales. Además, la impresión 3D de elementos de losa y el uso de BIM (Building Information Modeling) en su diseño están revolucionando la forma en que se conciben y construyen las losas. Así, se alinean las necesidades estructurales con los objetivos de sostenibilidad global. (Cruz, 2022)

## 2.3 Marco conceptual

- a. **Comportamiento sísmico.** - Abarca desplazamientos, esfuerzos internos, deformaciones y vibraciones generadas por la liberación de energía del sismo. Este comportamiento está determinado por factores como la rigidez global de la edificación, su masa, configuración geométrica, características del terreno y el tipo de sistema estructural adoptado. Evaluar adecuadamente esta respuesta resulta esencial para garantizar la estabilidad y seguridad de las construcciones ubicadas en regiones con alta actividad sísmica.
  
- b. **Análisis estático.** - Se trata de una técnica simplificada de análisis estructural que utiliza fuerzas laterales equivalentes para representar los efectos de un evento sísmico. Esta metodología se fundamenta en la aplicación de una única fuerza horizontal, la cual se distribuye entre los diferentes niveles del edificio en función de la masa y la altura de cada piso.
  
- c. **Análisis dinámico modal espectral.** - Es un procedimiento avanzado de análisis sísmico que evalúa múltiples modos de vibración y utiliza el espectro de respuesta para calcular los desplazamientos y las fuerzas internas conforme al comportamiento dinámico de la estructura. Este método ofrece una mayor precisión en comparación con el análisis estático equivalente, especialmente en edificaciones de geometría irregular o con varios niveles. Además, permite determinar el período fundamental de vibración, la contribución modal de cada forma y la distribución efectiva de las cargas inducidas por el sismo. Su uso es recomendado por la Norma E.030 en proyectos que demandan mayor rigurosidad estructural.
  
- d. **Sistema estructural aporticado.** - Se conforma por la interacción estructural entre vigas y columnas de concreto armado, que actúan en conjunto para soportar tanto cargas gravitacionales (como el peso propio y las cargas de uso) como fuerzas laterales ocasionadas por sismos o vientos. Este sistema constructivo es ampliamente



utilizado en edificaciones de baja altura, generalmente de uno a cinco niveles, debido a su adaptabilidad y costo accesible.

- e. **Losa convencional.** - Se trata de una losa estructural de concreto armado, ya sea en su forma maciza o aligerada, comúnmente empleada en edificaciones residenciales por su funcionalidad comprobada. Su principal función es transferir las cargas verticales hacia las vigas, al mismo tiempo que contribuye significativamente a la rigidez global del sistema estructural.
  
- f. **Losa pretensada.** - Esta técnica permite salvar mayores luces con secciones más delgadas y livianas, lo cual disminuye las dimensiones necesarias de vigas y columnas asociadas. Aunque tradicionalmente empleada en edificaciones industriales o de gran envergadura, su aplicación en construcciones residenciales está ganando terreno debido a sus múltiples beneficios estructurales. No obstante, su ejecución demanda personal especializado y un estricto control de calidad durante cada fase del proceso.



## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Enfoque de la investigación

El enfoque es **cuantitativo**, ya que se sustenta en el uso de datos numéricos obtenidos mediante simulaciones estructurales. Estos datos se analizan a través de estadística descriptiva para establecer diferencias objetivas entre el comportamiento de ambos tipos de losa. El tratamiento de los resultados se realiza con base en medidas precisas: desplazamientos, fuerzas cortantes, periodos de vibración, entre otros.

El enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis previamente establecidas, confiando en la medición numérica y el análisis estadístico. El enfoque cuantitativo se basa en la medición numérica de las variables, el uso de instrumentos estandarizados y el análisis estadístico para probar hipótesis. (Alfonso et al., 2020)

#### 3.2 Tipo de la investigación

El tipo de investigación es **aplicada**, puesto que busca resolver una problemática concreta de diseño estructural en la ingeniería civil, generando conocimientos útiles que pueden ser aplicados por ingenieros, proyectistas y constructores en zonas sísmicas como Juliaca.

La investigación aplicada persigue fines prácticos, busca la aplicación o utilización del conocimiento que se adquiere para resolver problemas específicos. La investigación aplicada tiene por objetivo resolver problemas prácticos y concretos, mediante la utilización del conocimiento científico. (González, 2022)

### 3.3 Nivel de la Investigación

Es de nivel **descriptivo**, ya que se enfoca en asemejar y describir el comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado bajo dos configuraciones distintas de losa. Se busca detallar cómo responde estructuralmente cada variante sin buscar crónicas productora entre versátiles.

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento. La investigación descriptiva tiene como propósito detallar las características de un fenómeno, identificar sus elementos y cómo se manifiestan. (Iglesias, 2021)

### 3.4 Diseño de la Investigación

El diseño de esta investigación es **no experimental**, ya que no se manipulan intencionalmente las variables. En lugar de ello, se analizan en su contexto natural mediante modelos computacionales representativos de una vivienda unifamiliar. Se observará y describirá el comportamiento estructural de la edificación con losas convencionales y pretensadas, frente a cargas sísmicas definidas por la NTP E.030. No se intervendrá directamente sobre el objeto de estudio.

En la investigación no experimental, se observa el fenómeno tal como se da en su contexto natural, para después analizarlo. El diseño no experimental es aquel en el que no se manipulan deliberadamente las variables independientes, sino que se observan los fenómenos tal como se dan en su contexto natural. (Paitán, 2014)

### 3.5 Método de la Investigación

El método utilizado es el **científico**, dado que se parte de la observación de un fenómeno estructural (respuesta sísmica), se formula una hipótesis técnica, se simulan condiciones controladas en software estructural, y se analizan los resultados con base en principios estructurales y normativa técnica. Este enfoque asegura la objetividad y replicabilidad de los resultados.

El método científico es el conjunto de pasos que el investigador sigue en el estudio de un fenómeno, adquiriendo nuevos conocimientos o confirmando los existentes. El método científico es un procedimiento sistemático que permite formular problemas, establecer hipótesis, recolectar datos, analizarlos e interpretar resultados, con el fin de obtener conocimientos objetivos y verificables. (Guadalupe y Concepción, 2020)

### 3.6 Población y Muestra

#### 3.6.1 Población

La población es el conjunto completo de elementos o individuos que poseen características en común y que son el objeto de estudio en una investigación. La población es a quien se busca generalizar los resultados. (Reyes, 2022)

La población estará constituida por sistemas estructurales aporticado de concreto armado con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel, departamento de Puno. Estas edificaciones presentan características y suelen construirse con sistemas estructurales aporticados utilizando losas aligeradas convencionales o alternativas tecnológicas como losas pretensadas.

#### 3.6.2 Muestra

Describen la muestra como un subconjunto de la población. Este grupo es seleccionado de manera que sus características sean representativas de la población,



permitiendo que los resultados obtenidos se generalicen con cierta confianza. (Sampieri, 2018).

La muestra estará conformada por un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel. Esta edificación representa una tipología común en la zona de estudio y cumple con las condiciones necesarias para ser evaluada bajo dos escenarios distintos: uno con losas aligeradas convencionales y otro con losas pretensadas. La selección se basó en criterios técnicos como la geometría estructural, la aplicabilidad de las normas peruanas vigentes y la viabilidad del modelado computacional en ETABS.

### **3.7 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **3.7.1 Técnicas de recolección de datos**

Se emplea la técnica de simulación estructural computacional, que permite representar de manera virtual la actuación estructural de edificaciones frente a otras demandas. Esta técnica se fundamenta en la modelación tridimensional de la estructura de una vivienda unifamiliar con fines comerciales, aplicando cargas estáticas y dinámicas conforme a la normativa vigente. Se crean dos modelos estructurales diferenciados: uno con losas macizas convencionales y otro con losas pretensadas, a fin de comparar el desempeño sísmico de ambos sistemas. (Paitán, 2014)

La simulación permite realizar un análisis riguroso sin necesidad de recurrir a ensayos físicos, ahorrando tiempo y recursos. Esta técnica es indispensable en estudios de evaluación estructural porque reproduce de forma precisa el comportamiento del sistema aporticado, considerando las propiedades de los materiales, las condiciones de carga y las configuraciones geométricas del edificio. (Gómez, 2006)

En el presente estudio las técnicas empleadas fueron:

- Observación directa
- Modelamiento
- Análisis e interpretación de resultados

### 3.7.2 Instrumentos de recolección de datos.

- **Software ETABS versión 20 o superior:** Herramienta especializada en análisis y diseño estructural de edificaciones. Permite la modelación tridimensional del sistema estructural, ejecución de análisis estático lineal, análisis dinámico modal espectral, verificación de desplazamientos laterales, cálculo de derivas y revisión del cumplimiento normativo. Es ampliamente utilizado por profesionales del área de ingeniería estructural.
- **Norma Técnica Peruana E.030 – Diseño Sismorresistente:** Documento oficial que establece los criterios, parámetros y procedimientos para garantizar que las edificaciones en el Perú tengan un comportamiento adecuado ante movimientos sísmicos. Define zonas sísmicas, factores de reducción de respuesta, coeficientes de seguridad, entre otros aspectos fundamentales para el análisis sísmico.
- **Norma Técnica Peruana E.060 – Concreto Armado:** Norma que regula el diseño estructural con concreto armado. Contiene disposiciones sobre la resistencia de materiales, secciones mínimas, diseño de elementos estructurales (vigas, columnas, losas), y requisitos de detallado para avalar.
- **Manuales técnicos del ACI (American Concrete Institute):** Textos de referencia internacional que contienen recomendaciones y guías técnicas sobre diseño, construcción y mantenimiento de estructuras de concreto. Complementan la normativa nacional, aportando criterios ampliamente aceptados sobre propiedades de materiales, diseño por desempeño, refuerzo estructural y durabilidad.

### 3.8 Procesamiento de datos

Los datos obtenidos de las simulaciones serán organizados en cuadros y gráficos comparativos. Se utilizará estadística descriptiva para mostrar valores máximos, diferenciales y porcentajes de variación. El análisis se enfocará en determinar cuál tipo de losa ofrece un mejor desempeño estructural frente a las cargas sísmicas definidas por la norma E.030.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Resultados

##### 4.1.1 *Parámetros mínimos para la determinación del comportamiento sísmico.*

##### 4.1.1.1. Losa convencional

##### Cargas aplicadas

- Acabados 100 kg/m<sup>2</sup>
- Tabiquería 100 kg/m<sup>2</sup>
- Peso propio de la losa aligerada (h=0.20m) 290 kg/m<sup>2</sup>
- Peso parapeto en viga 270 kg/m<sup>2</sup>
- Peso de tabiquería en viga 540 kg/m<sup>2</sup>

##### Cargas vivas

- Vivienda 200 Kg/m<sup>2</sup>
- Escalera 200 Kg/m<sup>2</sup>

##### Estimación de peso sísmico

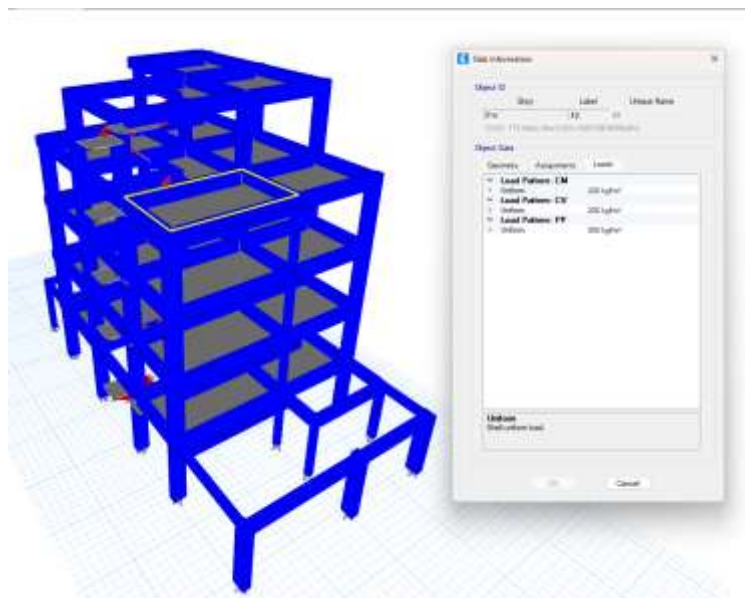
Representa la fuerza inercial equivalente que actúa sobre la estructura debido a la aceleración sísmica. En otras palabras, el peso sísmico es una estimación del peso que la estructura tendrá durante un sismo.

$$P = 100\% (\text{Peso propio} + \text{CM}) + 25\% \text{ carga viva (Categoría C)}$$

Porcentaje de participación de cargas para el análisis de acuerdo a las categorías de edificación.

**Figura 1**

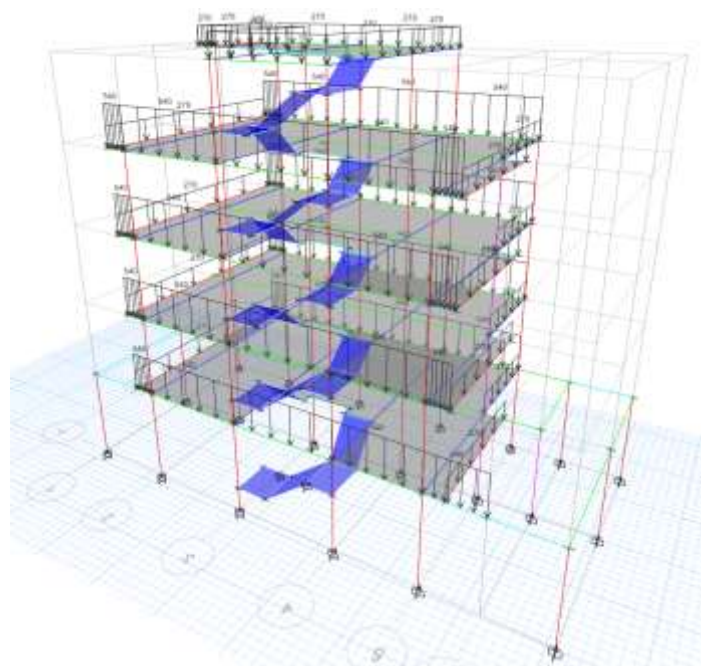
*Cargas aplicadas a la losa de entrepiso de la estructura.*



Se muestra la asignación de cargas uniformes sobre las losas de entrepiso en el modelo estructural, considerando cargas muertas y vivas expresadas en  $\text{kg/m}^2$ .

**Figura 2**

*Carga distribuida en vigas por tabiquería.*



Se muestra la distribución de carga lineal generada por tabiquería sobre las vigas de un edificio multifamiliar, modelada en un entorno tridimensional. Se destacan síntesis estructurales clave como vigas, columnas y muros, así como la dirección y magnitud de las cargas aplicadas.

#### 4.1.1.2. Losa Pretensada

##### a. Cargas aplicadas

- Acabados : 100 kg/m<sup>2</sup>
- Tabiquería : 100 kg/m<sup>2</sup>
- Peso propio de la losa aligerada (h=0.20m) : 315 kg/m<sup>2</sup>
- Peso parapeto en viga : 270 kg/m<sup>2</sup>
- Peso de tabiquería en viga : 540 kg/m<sup>2</sup>

### Figura 3

*Carga de losa prefabricada.*

Cuadro comparativo - Peso unitario de losa por m <sup>2</sup>					
Espesor de losa (cm)	Sistema tradicional ladrillo arcilla a 40cm	bovedilla poliestireno a 50cm	Mix (bandeja concreta + bloque de poliestireno a 50cm)	Bovedilla arcilla a 50cm	Bovedilla concreta a 50cm
17	270kg	190kg	260kg	265kg	
20	300kg	210kg	278kg	280kg	315kg
25	350kg	250kg	306kg	335kg	360kg
30	400kg	300kg	336kg	400kg	

Se muestra un cuadro comparativo del peso unitario por metro cuadrado de diferentes sistemas de losa prefabricada, según el espesor y el tipo de material utilizado.

##### b. Cargas vivas

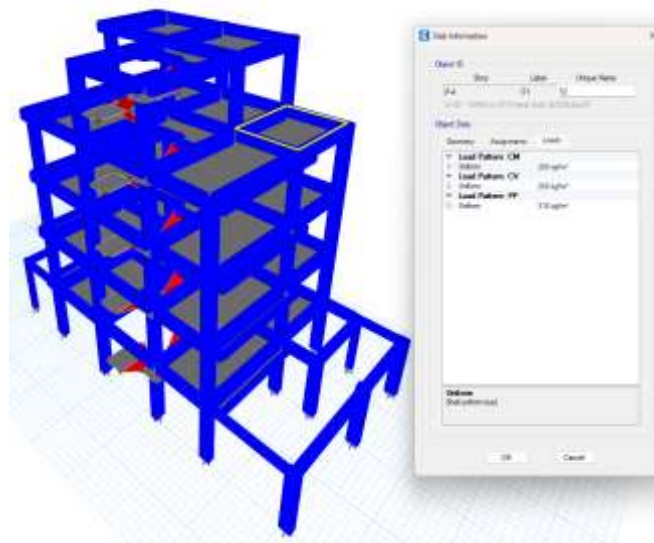
- Vivienda 200 Kg/m<sup>2</sup>
- Escalera 200 Kg/m<sup>2</sup>

##### c. Cargas productos por sismo

$$P= 100\% (\text{Peso propio} + \text{CM}) + 25\% \text{ carga viva (Categoría C)}$$

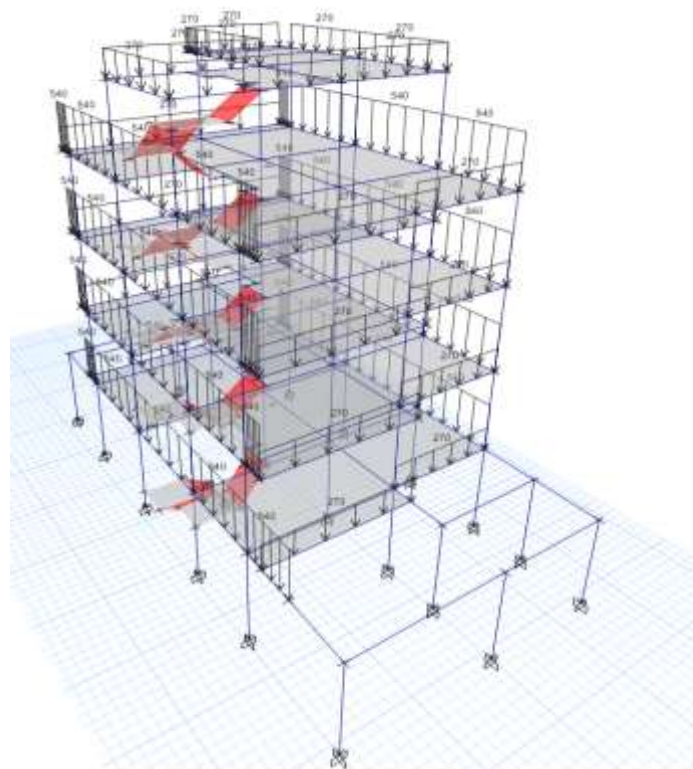
**Figura 4**

*Cargas aplicadas a la losa de entrepiso de la estructura.*



**Figura 5**

*Carga distribuida en vigas por tabiquería.*



Se ilustra la distribución de carga lineal por tabiquería aplicada sobre las vigas del modelo estructural tridimensional. Las cargas, expresadas en kg/m, fueron asignadas considerando la ubicación y longitud de los muros divisorios.

#### 4.1.2 Verificar las irregularidades estructurales

##### 4.1.2.1. Análisis estático – losas convencionales

###### a. Verificación de irregularidades

Según Flores y Salgado (2020), las irregularidades son variaciones en el diseño geométrico o de propiedades mecánicas de las estructuras, que pueden ser en planta (como cambios de dimensiones) o en altura (diferencias significativas en los pisos).

###### b. Irregularidades estructurales en planta y altura

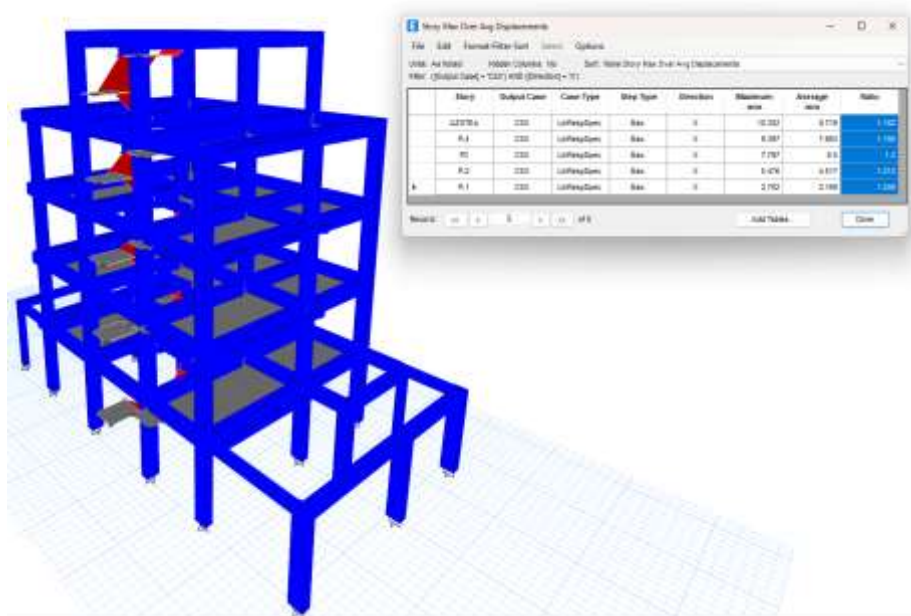
###### Irregularidades torsionales

En su obra DYNAMICS OF STRUCTURE, Chopra define las irregularidades torsionales como diferencias significativas en la rigidez lateral entre los pisos de un edificio, lo que puede generar una respuesta desbalanceada durante un sismo.

- Si  $\Delta_{max} \geq 1.3 \Delta_{prom}$  → irregular torsional
- Si  $\Delta_{max} \geq 1.5 \Delta_{prom}$  → irregular torsional extrema

#### Figura 6

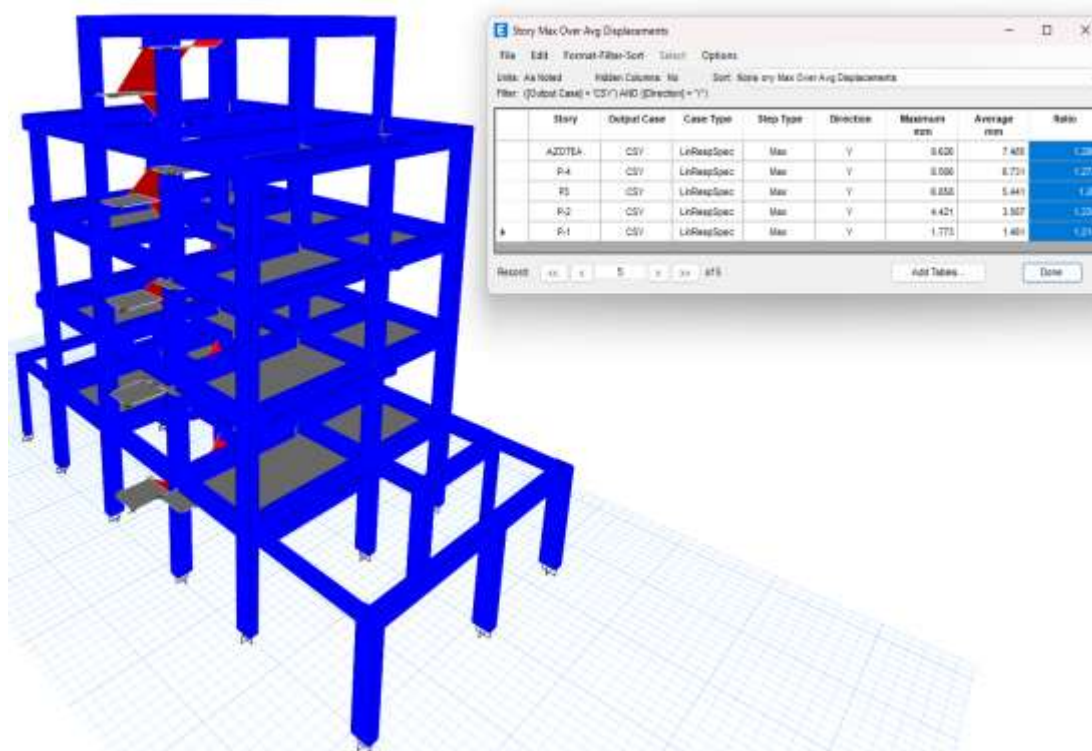
Ratio menor a 1.3 para descartar irregularidades torsionales para dirección X.



Se observa que todas las ratios son menores a 1.3, descartando la presencia de irregularidades torsionales conforme a la normativa sísmica.

**Figura 7**

Ratio menor a 1.3 para descartar irregularidades torsionales para la dirección Y.



Se muestra los resultados del cociente entre desplazamientos máximos y promedio por nivel en dirección Y, según análisis espectral de respuesta. Todos los valores son menores a 1.3, lo que indica ausencia de irregularidades torsionales conforme a los criterios normativos.

#### 4.1.2.2. Análisis estático – losas pretensadas

##### a. Verificación de irregularidades

##### Irregularidades estructurales en planta y altura

##### Irregularidades torsionales

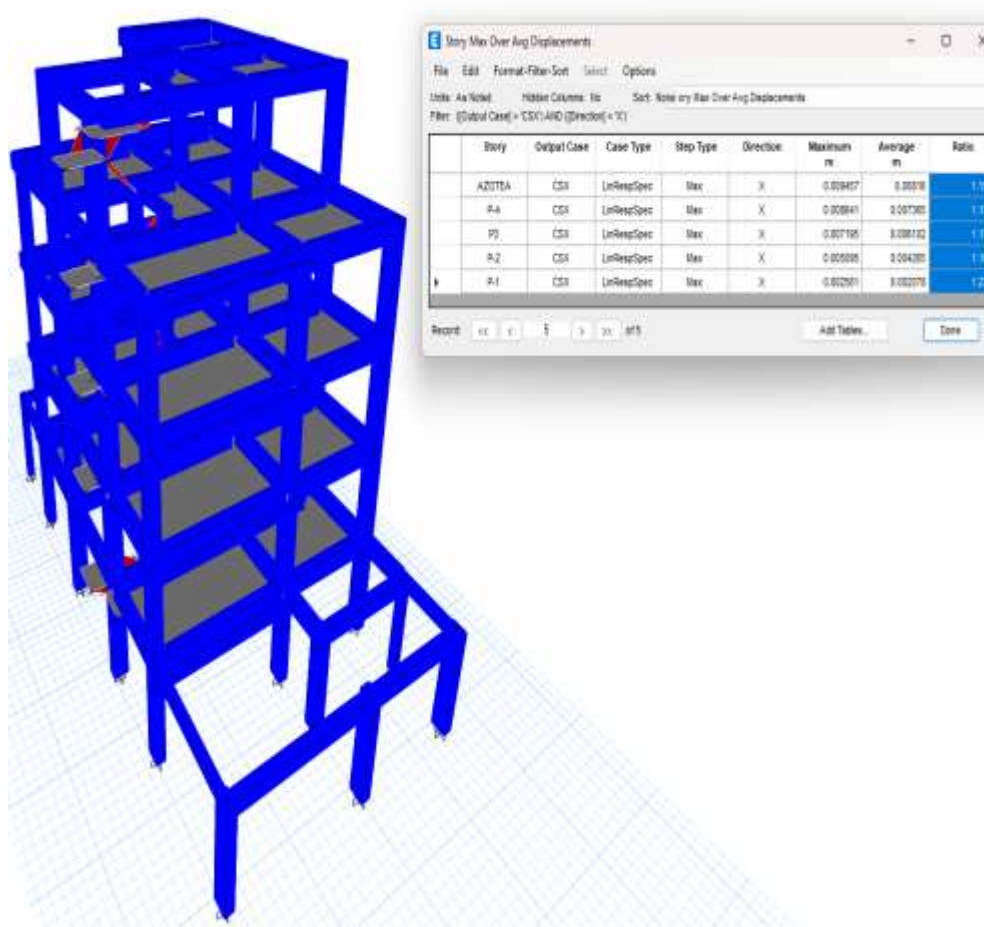
Medina y Medina (2017), en su estudio, analizaron diferentes tipos de irregularidades en planta en edificaciones de hormigón armado y su influencia en la torsión accidental. Propusieron una ecuación para calcular un coeficiente de irregularidad en

planta, basado en los porcentajes de participación modal de la masa de cada estructura analizada, con el objetivo de incorporarlo en el diseño sísmico.

- Si  $\Delta_{max} \geq 1.3 \Delta_{prom}$  → irregular torsional
- Si  $\Delta_{max} \geq 1.5 \Delta_{prom}$  → irregular torsional extrema

**Figura 8**

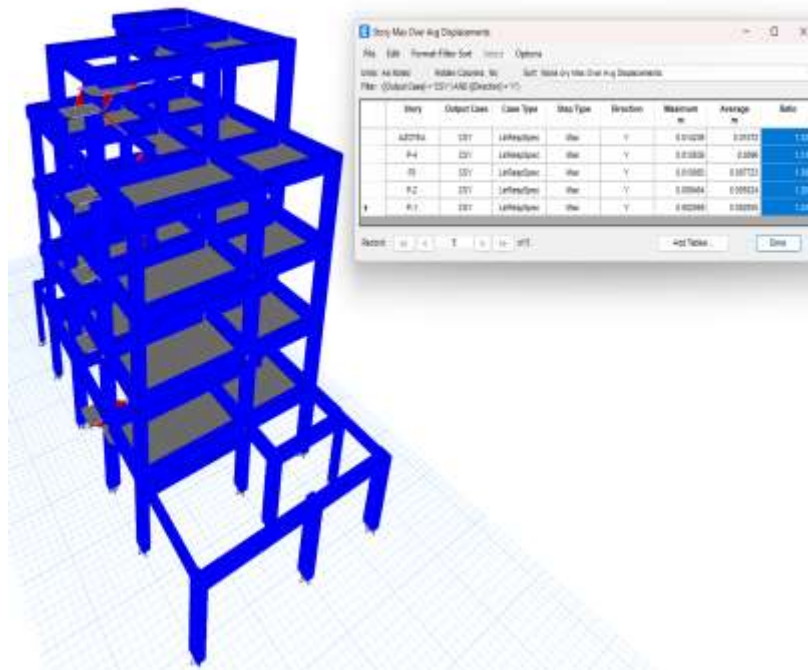
*Ratio menor a 1.3 para descartar irregularidades torsionales para dirección X.*



Se muestra la relación entre desplazamientos máximos y promedio por nivel en dirección X, obtenida del análisis dinámico espectral. Todos los valores de ratio son menores a 1.3, lo que indica ausencia de irregularidades torsionales según la normativa sísmica.

**Figura 9**

*Ratio menor a 1.3 para descartar irregularidades torsionales para dirección Y.*



Se presenta la relación entre desplazamientos máximos y promedio por nivel en dirección Y, obtenida mediante análisis dinámico espectral. Todos los valores de ratio son menores a 1.3, descartando la presencia de irregularidades torsionales conforme a la normativa sísmica.

**4.1.3 Analizar las fuerzas cortantes en la base por medio de un análisis dinámico modal espectral**

**4.1.3.1. Fuerza cortante en la base**

**Figura 10**

*Fuerza cortante base*

Output Case	Case Type	Step Type	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m
CM	LinStatic		0	0	451738.26	934316835.86	-1485225639	0.0001279
CV	LinStatic		0	0	80350	166195171	-264165721	0
CSX	LinRespSpec	Max	39855.97	22428.48	19391.83	40113193.88	63755515.13	92352059.58
CSY	LinRespSpec	Max	22430.34	34317.8	19480.59	40297958.33	64047994.49	113965932.29

$$P = CM + 0.25 \cdot CV = 451738.26 + 0.25 \cdot 80350 = 471825.76 \text{ kg}$$

$$V_x = \frac{Z.U.C.S.}{R_x} = \frac{0.35 \cdot 1 \cdot 2.5 \cdot 1.15}{8} \cdot 471825.76 = 59346.834 \text{ kg}$$

$$V_y = \frac{Z.U.C.S.}{R_x} = \frac{0.35 \cdot 1 \cdot 2.5 \cdot 1.15}{8} \cdot 471825.76 = 59346.834 \text{ kg}$$

Figura 11

## Verificación de cortante mínima

Output Case	Case Type	Step Type	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m
CM	LinStatic		0	0	451738.26	934316835.86	-1485225639	0.0001279
CV	LinStatic		0	0	80350	166195171	-264165721	0
CSX	LinRespSpec	Max	39855.97	22428.48	19391.83	40113193.88	63755515.13	92352059.58
CSY	LinRespSpec	Max	22430.34	34317.8	19480.59	40297958.33	64047994.49	113965932.29

$$V_{xdin} \geq 0.9 \cdot V_x$$

$$V_{ydin} \geq 0.9 \cdot V_y$$

$$V_{xdin} = 49855.97 \text{ kgf}$$

$$V_{ydin} = 34317.8 \text{ kgf}$$

$$0.9 \cdot 59346.834 = 53412.15 \text{ kgf}$$

$$0.9 \cdot 59346.834 = 53412.15 \text{ kgf}$$

Se puede observar que la cortante basal dinámica es menor que la cortante basal estática lo que requiere escalar



**Tabla 2**

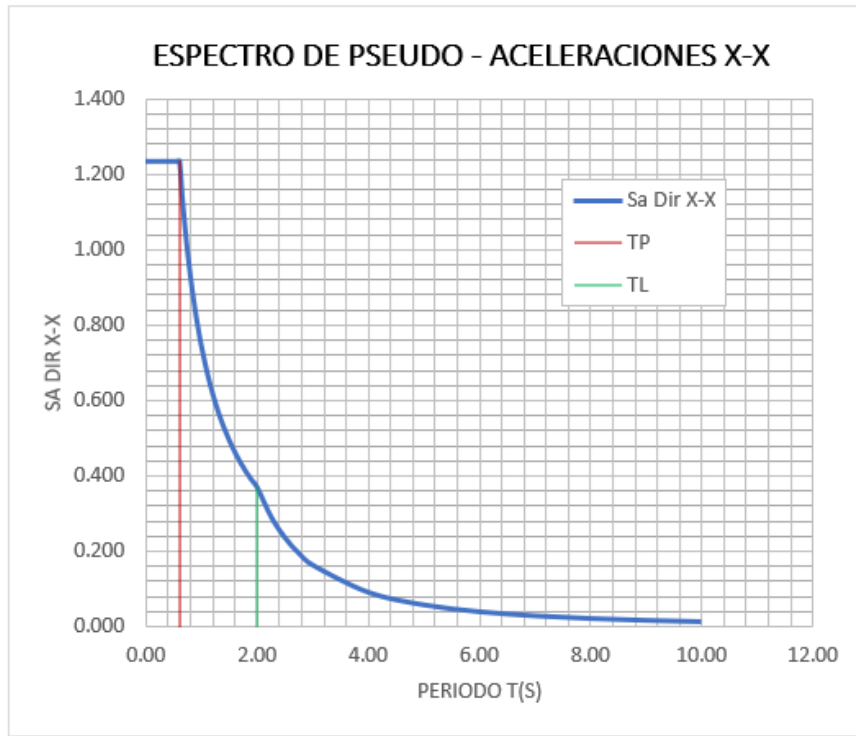
*Espectro pseudo aceleración en la dirección X-Y.*

C	T	Sa Dir X-X	Sa Dir Y-Y
<b>2.50</b>	0.00	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.02	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.04	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.06	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.08	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.10	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.12	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.14	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.16	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.18	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.20	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.25	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.30	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.35	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.40	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.45	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.50	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.55	1.234	1.234
<b>2.50</b>	0.60	1.234	1.234
<b>2.31</b>	0.65	1.139	1.139
<b>2.14</b>	0.70	1.058	1.058
<b>2.00</b>	0.75	0.987	0.987
<b>1.88</b>	0.80	0.925	0.925
<b>1.76</b>	0.85	0.871	0.871
<b>1.67</b>	0.90	0.823	0.823
<b>1.58</b>	0.95	0.779	0.779
<b>1.50</b>	1.00	0.740	0.740
<b>1.36</b>	1.10	0.673	0.673
<b>1.25</b>	1.20	0.617	0.617
<b>1.15</b>	1.30	0.569	0.569
<b>1.07</b>	1.40	0.529	0.529
<b>1.00</b>	1.50	0.494	0.494
<b>0.94</b>	1.60	0.463	0.463
<b>0.88</b>	1.70	0.435	0.435
<b>0.83</b>	1.80	0.411	0.411
<b>0.79</b>	1.90	0.390	0.390
<b>0.75</b>	2.00	0.370	0.370
<b>0.59</b>	2.25	0.292	0.292
<b>0.48</b>	2.50	0.237	0.237
<b>0.40</b>	2.75	0.196	0.196
<b>0.33</b>	3.00	0.165	0.165
<b>0.19</b>	4.00	0.093	0.093
<b>0.12</b>	5.00	0.059	0.059
<b>0.08</b>	6.00	0.041	0.041
<b>0.06</b>	7.00	0.030	0.030
<b>0.05</b>	8.00	0.023	0.023
<b>0.04</b>	9.00	0.018	0.018

Se detallan los valores del coeficiente de amplificación sísmica (C) y las aceleraciones espectrales (Sa) correspondientes a cada dirección.

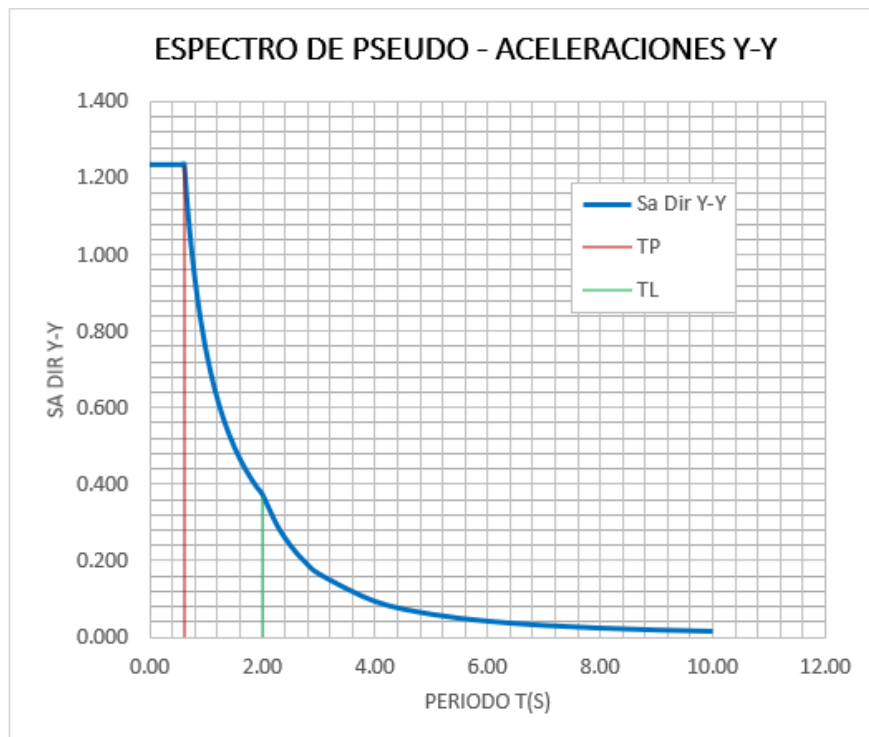
**Figura 12**

*Espectro de Pseudo – Aceleraciones X-X.*



**ra 13**

*Espectro de Pseudo – Aceleraciones Y-Y.*





**Tabla 3**

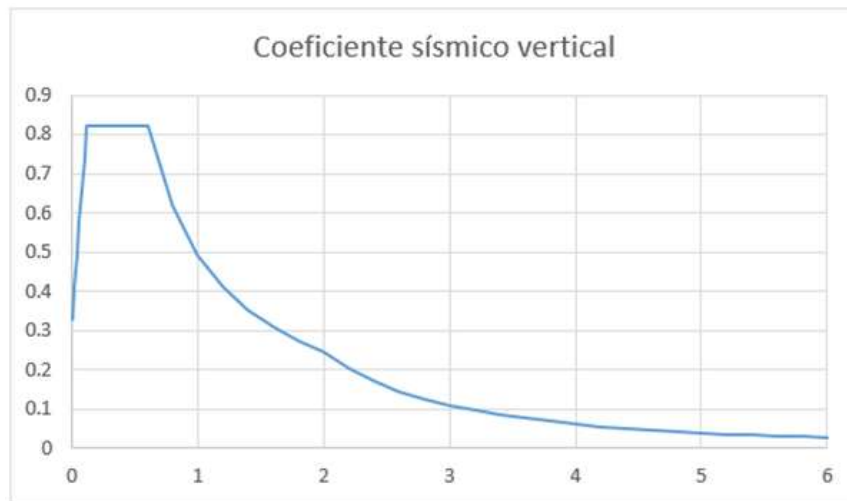
*Espectro pseudo aceleración en la dirección Z*

<b>ESPECTRO DE DISEÑO VERTICAL</b>	
T	ZUCS/R
0	0.32904375
0.02	0.411304688
0.04	0.493565625
0.06	0.575826563
0.08	0.6580875
0.1	0.740348438
0.12	0.822609375
0.2	0.822609375
0.4	0.822609375
0.6	0.822609375
0.8	0.616957031
1	0.493565625
1.2	0.411304688
1.4	0.352546875
1.6	0.308478516
1.8	0.274203125
2	0.246782813
2.2	0.203952738
2.4	0.171376953
2.6	0.146025333
2.8	0.125909598
3	0.10968125
3.2	0.096399536
3.4	0.085391977
3.6	0.076167535
3.8	0.06836089
4	0.061695703
4.2	0.055959821
4.4	0.050988184
4.6	0.046650815
4.8	0.042844238
5	0.03948525
5.2	0.036506333
5.4	0.033852238
5.6	0.0314774
5.8	0.029343973
6	0.027420313

Para edificaciones convencionales, el análisis dinámico se realiza mediante combinaciones espectrales según la Norma E.030. A continuación, se presentan los espectros de pseudoaceleración sísmica utilizados en ETABS para las direcciones X-X y Y-Y.

**Figura 14**

*Coefficiente sísmico vertical*



#### 4.1.3.2. Fuerza cortante en la base

**Figura 15**

*Cargas aplicadas.*

E Base Reactions									
File Edit Format-Filter-Sort Select Options									
Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Base Reactions									
Filter: None									
	Output Case	Case Type	Step Type	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m
	CM	LinStatic		0	0	451738.26	934316835.86	-1485225639	0.0001279
▶	CV	LinStatic		0	0	80350	166195171	-264165721	0
	CSX	LinRespSpec	Max	39855.97	22428.48	19391.83	40113193.88	63755515.13	92352059.58
	CSY	LinRespSpec	Max	22430.34	34317.8	19480.59	40297958.33	64047994.49	113965932.29

$$P = CM + 0.25 \cdot CV = 451738.26 + 0.25 \cdot 80350 = 471825.76 \text{ kg}$$

$$V_x = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R_x} = \frac{0.35 \cdot 1 \cdot 2.5 \cdot 1.15}{8} \cdot 471825.76 = 59346.834 \text{ kg}$$

$$V_y = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R_x} = \frac{0.35 \cdot 1 \cdot 2.5 \cdot 1.15}{8} \cdot 471825.76 = 59346.834 \text{ kg}$$

#### 4.1.3.3. Verificación de cortante mínima

Según la norma peruana E.030 establece que, para cada una de las direcciones en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 80% del valor calculado según el artículo 25 para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Figura 16

Cortante dinámico en x e y

Output Case	Case Type	Step Type	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m
CM	LinStatic		0	0	451738.26	934316835.86	-1485225639	0.0001279
CV	LinStatic		0	0	80350	166195171	-264165721	0
CSX	LinRespSpec	Max	39855.97	22428.48	19391.83	40113193.88	63755515.13	92352059.58
CSY	LinRespSpec	Max	22430.34	34317.8	19480.59	40297958.33	64047994.49	113965932.29

Verificación:

$$V_{xdin} \geq 0.9 * V_x$$

$$V_{ydin} \geq 0.9 * V_y$$

$$V_{xdin} = 49855.97 \text{ kgf}$$

$$V_{ydin} = 34317.8 \text{ kgf}$$

$$0.9 * 59346.834 = 53412.15 \text{ kgf}$$

$$0.9 * 59346.834 = 53412.15 \text{ kgf}$$

Factor de escala:

$$FE_x = 0.9 * \frac{V_x}{V_{xdin}} = 0.9 \frac{59346.834}{39855.97} = 1.34$$

$$FE_y = 0.9 * \frac{V_y}{V_{ydin}} = 0.9 \frac{59346.834}{34317.8} = 1.556$$

Por lo tanto, en la dirección x, se requiere escalar 1.34 y en la dirección Y se requiere escalar 1.556.

#### 4.1.3.4. Sistema estructural

La norma peruana E.030 establece un sistema de clasificación de los sistemas estructurales según su comportamiento y capacidad sísmica. Cada tipo de sistema estructural tiene asignado un factor de reducción de la fuerza sísmica (R), el cual indica la disminución en magnitud de fuerzas sísmicas consideradas durante el proceso de diseño.

En la dirección X-X se tiene:

**Tabla 4**

*Sistema estructural en la dirección X.*

Descripción	Columnas + placa	Total
<b>Fuerza cortante</b>	39.855 tn	39.855 tn
<b>% de fuerza cortante</b>	100 %	100 %

Se muestra la distribución de la fuerza cortante en la dirección X-X, donde el total de la demanda sísmica es absorbida por el sistema compuesto por columnas y placas. Se registra una fuerza cortante de 88.225 toneladas, representando el 100 % de la demanda.

En la dirección Y-Y se tiene:

**Tabla 5**

*Sistema estructural en la dirección Y.*

Descripción	Columnas + placa	Total
<b>Fuerza cortante</b>	34.317 tn	34.317 tn
<b>% de fuerza cortante</b>	100 %	100 %

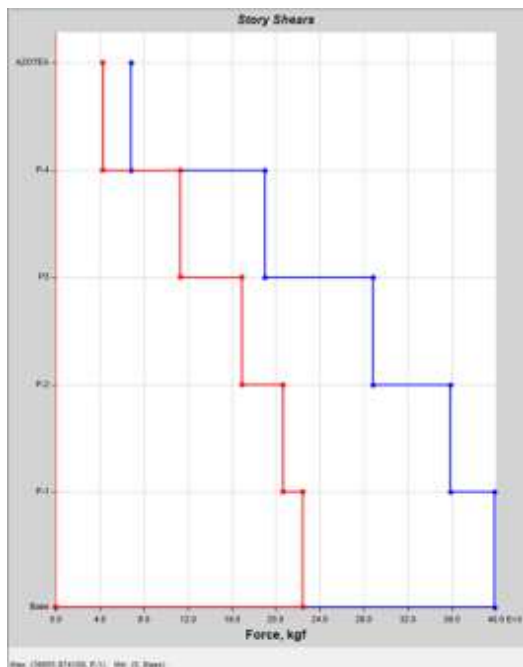
Se presenta la distribución de la fuerza cortante en la dirección Y-Y, donde el sistema estructural compuesto por columnas y placas absorbe el 100 % de la demanda sísmica. La fuerza cortante total registrada es de 79.916 toneladas.

El sistema estructural adoptado es dual, donde columnas, placas y vigas actúan conjuntamente para resistir cargas y brindar estabilidad y rigidez.

### 4.1.3.5. Cortante basales

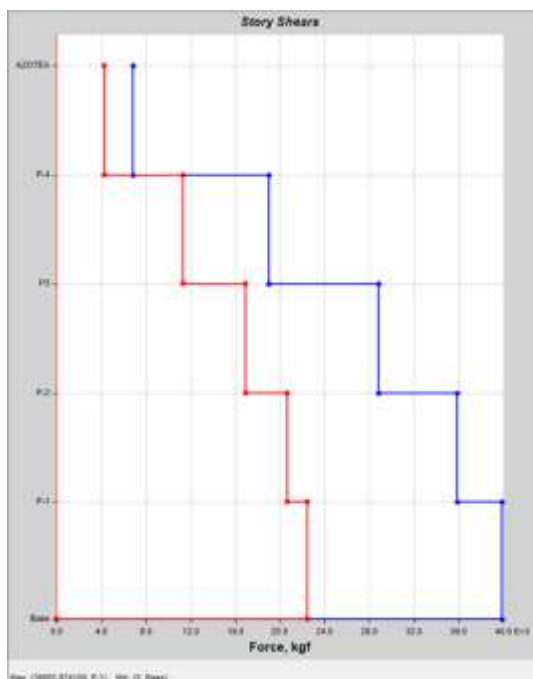
**Figura 17**

*Cortante basal por sismo dinámica en dirección X.*



**Figura 18**

*Cortante basal por sismo dinámica en dirección Y.*



### 4.1.3.6. Modos de vibración y periodos

Figura 19

Modos de vibración.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Modal	1	0.527	0.3139	0.2575	7.515E-06	0.3139	0.2575	7.515E-06
Modal	2	0.469	0.4719	0.3412	1.46E-06	0.7858	0.5987	8.974E-06
Modal	3	0.379	0.0626	0.2113	6.25E-07	0.8485	0.81	9.599E-06
Modal	4	0.176	0.025	0.0589	0.0001	0.8735	0.8689	0.0001
Modal	5	0.158	0.0675	0.0384	2.367E-06	0.941	0.9072	0.0001
Modal	6	0.121	0.0085	0.0125	0.0005	0.9495	0.9197	0.0005
Modal	7	0.1	0.0079	0.0625	1.394E-06	0.9574	0.9823	0.0005
Modal	8	0.087	0.0383	0.0103	0.0002	0.9957	0.9926	0.0007
Modal	9	0.068	2.783E-06	0.0001	0.6176	0.9958	0.9927	0.6183
Modal	10	0.043	0	4.834E-05	0.3082	0.9958	0.9927	0.9265

Se observa que la participación de masa es superior del 90%, lo que indica que los resultados pueden ser utilizados para los cálculos correspondientes.

### 4.1.3.7. Análisis dinámico modal espectral – losas pretensadas

Figura 20

Fuerza cortante base

Output Case	Case Type	Step Type	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m
CM	LinStatic		0	0	446611.89	923712886.18	-1468369517	0.0004534
CV	LinStatic		0	0	80350	166195171	-264165721	0.0001707
CSX	LinRespSpec	Max	52850.76	28874.57	18720.02	38720792.57	61545562.28	106195578.78
CSY	LinRespSpec	Max	44729.58	70486.01	18993.78	39295018.99	62445372.77	247388543.44

$$P = CM + 0.25.CV = 446611.89 + 0.25 * 80350 = 466699.39 \text{ KG}$$

$$V_x = \frac{Z.U.C.S.}{R_x} = \frac{0.35 * 1 * 2.5 * 1.15}{8} * 466699.39 = 58702.033 \text{ kg}$$

$$V_y = \frac{Z.U.C.S.}{R_x} = \frac{0.35 * 1 * 2.5 * 1.15}{6} * 466699.39 = 78269.377 \text{ kg}$$

**Figura 21**

*Verificación de cortante mínima*

Output Case	Case Type	Step Type	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m
CM	LinStatic		0	0	446611.89	923712886.18	-1468369517	0.0004322
CV	LinStatic		0	0	80350	166195171	-264165721	0
CSX	LinRespSpec	Max	40008.74	21860.55	18650.69	38577603.68	61318984.66	80398464.23
CSY	LinRespSpec	Max	29121.92	45890.89	18743.5	38773081.78	61624496.51	161065752.63

$$V_{xdin} \geq 0.9 * V_x$$

$$V_{ydin} \geq 0.9 * V_y$$

$$V_{xdin} = 40008.74 \text{ kgf}$$

$$V_{ydin} = 45890.89 \text{ kgf}$$

$$0.9 * 58702.033 = 52831.829 \text{ kgf}$$

$$0.9 * 78269.377 = 70442.439 \text{ kgf}$$

Se puede observar que la cortante basal dinámica es menor que la cortante basal estática lo que requiere escalar

**Tabla 6**

*Espectro pseudo aceleración en la dirección X-Y.*

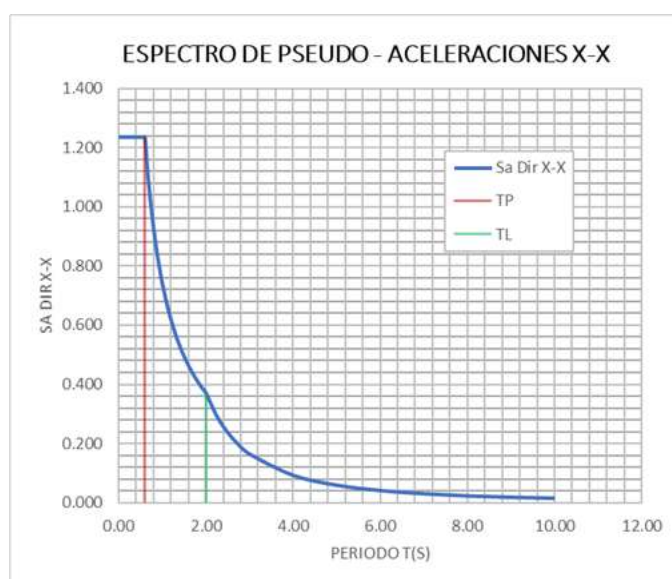
C	T	Sa Dir X-X	Sa Dir Y-Y
2.50	0.00	1.234	1.645
2.50	0.02	1.234	1.645
2.50	0.04	1.234	1.645
2.50	0.06	1.234	1.645
2.50	0.08	1.234	1.645
2.50	0.10	1.234	1.645
2.50	0.12	1.234	1.645
2.50	0.14	1.234	1.645
2.50	0.16	1.234	1.645
2.50	0.18	1.234	1.645
2.50	0.20	1.234	1.645
2.50	0.25	1.234	1.645
2.50	0.30	1.234	1.645
2.50	0.35	1.234	1.645
2.50	0.40	1.234	1.645
2.50	0.45	1.234	1.645
2.50	0.50	1.234	1.645
2.50	0.55	1.234	1.645
2.50	0.60	1.234	1.645
2.31	0.65	1.139	1.519

C	T	Sa Dir X-X	Sa Dir Y-Y
2.14	0.70	1.058	1.410
2.00	0.75	0.987	1.316
1.88	0.80	0.925	1.234
1.76	0.85	0.871	1.161
1.67	0.90	0.823	1.097
1.58	0.95	0.779	1.039
1.50	1.00	0.740	0.987
1.36	1.10	0.673	0.897
1.25	1.20	0.617	0.823
1.15	1.30	0.569	0.759
1.07	1.40	0.529	0.705
1.00	1.50	0.494	0.658
0.94	1.60	0.463	0.617
0.88	1.70	0.435	0.581
0.83	1.80	0.411	0.548
0.79	1.90	0.390	0.520
0.75	2.00	0.370	0.494
0.59	2.25	0.292	0.390
0.48	2.50	0.237	0.316
0.40	2.75	0.196	0.261
0.33	3.00	0.165	0.219
0.19	4.00	0.093	0.123
0.12	5.00	0.059	0.079
0.08	6.00	0.041	0.055
0.06	7.00	0.030	0.040
0.05	8.00	0.023	0.031
0.04	9.00	0.018	0.024
0.03	10.00	0.015	0.020

El espectro en las direcciones X-X e Y-Y, en función del periodo estructural (T). Incluye los valores del coeficiente de amplificación (C) y la aceleración espectral (Sa).

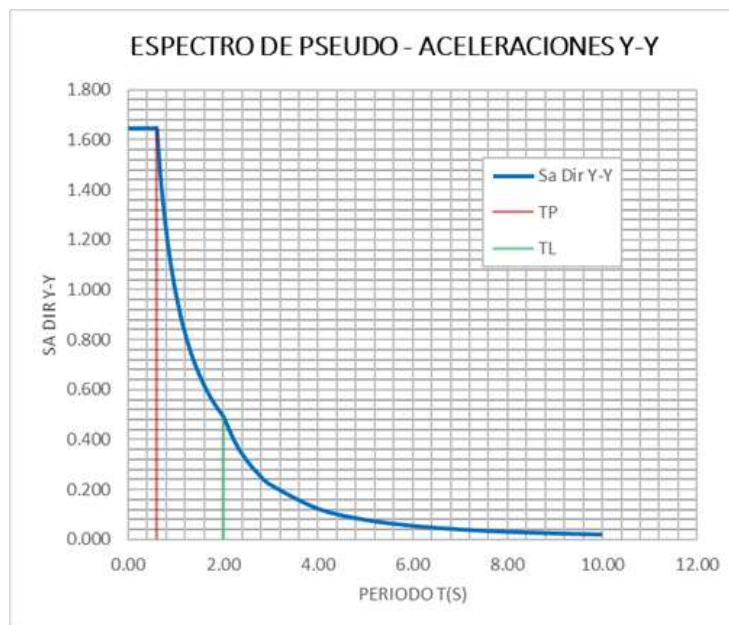
**Figura 22**

*Espectro de pseudo – aceleraciones Y-Y*



**Figura 23**

*Espectro de pseudo – aceleraciones Y-Y*



**Tabla 7**

*Espectro pseudo aceleración en la dirección Z.*

Espectro de diseño vertical		
T	C	ZUCS/R
0		0.32904375
0.02		0.411304688
0.04		0.493565625
0.06		0.575826563
0.08		0.6580875
0.1		0.740348438
0.12		0.822609375
0.2		0.822609375
0.4		0.822609375
0.6		0.822609375
0.8		0.616957031
1		0.493565625
1.2		0.411304688
1.4		0.352546875
1.6		0.308478516
1.8		0.274203125
2		0.246782813
2.2		0.203952738
2.4		0.171376953
2.6		0.146025333
2.8		0.125909598
3		0.10968125
3.2		0.096399536

---

<b>3.4</b>	0.085391977
<b>3.6</b>	0.076167535
<b>3.8</b>	0.06836089
<b>4</b>	0.061695703
<b>4.2</b>	0.055959821
<b>4.4</b>	0.050988184
<b>4.6</b>	0.046650815
<b>4.8</b>	0.042844238
<b>5</b>	0.03948525
<b>5.2</b>	0.036506333
<b>5.4</b>	0.033852238
<b>5.6</b>	0.0314774
<b>5.8</b>	0.029343973
<b>6</b>	0.027420313

---

Se muestra el espectro de pseudoaceleración en la dirección vertical (Z), en función del periodo estructural (T). Se incluyen los valores del coeficiente de amplificación (C) y la aceleración espectral normalizada (ZUCS/R). Esta información se emplea para considerar efectos sísmicos verticales en el diseño estructural.

**Figura 24**

*Coeficiente sísmico vertical.*



#### 4.1.3.8. Fuerza cortante en la base

El esfuerzo cortante sísmico basal estático ( $V_s$ ) para estructuras irregulares deba ser mayor a 90% y el esfuerzo cortante dinámico total en la base ( $V_d$ ) para estructuras regulares deba ser mayor a 80% como resultado de la combinación modal para cualquiera de las direcciones de análisis, el factor de modificación se multiplica por todos los parámetros de respuesta dinámica: 0,90 voltios por grado de diodo.

Figura 25

*Cargas aplicadas.*

Output Case	Case Type	Step Type	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m
CM	LinStatic		0	0	446611.89	923712886.18	-1468369517	0.0004534
CV	LinStatic		0	0	80350	166195171	-264165721	0.0001707
CSX	LinRespSpec	Max	52850.76	28874.57	18720.02	38720792.57	61545562.28	106195578.78
CSY	LinRespSpec	Max	44729.58	70486.01	18993.78	39295018.99	62445372.77	247388543.44

$$P = CM + 0.25 \cdot CV = 446611.89 + 0.25 * 80350 = 466699.39 \text{ KG}$$

$$V_x = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R_x} = \frac{0.35 * 1 * 2.5 * 1.15}{8} * 466699.39 = 58702.033 \text{ kg}$$

$$V_y = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R_x} = \frac{0.35 * 1 * 2.5 * 1.15}{6} * 466699.39 = 78269.377 \text{ kg}$$

#### 4.1.3.9. Verificación de cortante mínima

Según la norma peruana E.030 establece que, para cada una de las direcciones en el análisis, la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 80% del valor calculado según el artículo 25 para estructuras regulares, ni menor que el 90% para estructuras irregulares.

Figura 26

Cortante dinámico en X e Y.

Output Case	Case Type	Step Type	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m
CM	LinStatic		0	0	446611.89	923712886.18	-1468369517	0.0004322
CV	LinStatic		0	0	80350	166195171	-264165721	0
CSX	LinRespSpec	Max	40008.74	21860.55	18650.69	38577603.68	61318984.66	80398464.23
CSY	LinRespSpec	Max	29121.92	45890.89	18743.5	38773081.78	61624496.51	161065752.63

$$V_{xdin} \geq 0.8 * V_x$$

$$V_{ydin} \geq 0.8 * V_y$$

$$V_{xdin} = 99791.21 \text{ kgf}$$

$$V_{ydin} = 90350.64 \text{ kgf}$$

$$0.9 * 122406.503 = 110165.852 \text{ kgf}$$

$$0.9 * 110165.852 = 99149.267 \text{ kgf}$$

#### Factor de escala

$$FEx = 0.9 * \frac{V_x}{V_{xdin}} = 0.9 * \frac{58702.033}{40008.74} = 1.321$$

$$FEy = 0.9 * \frac{V_y}{V_{ydin}} = 0.9 * \frac{78269.377}{45890.89} = 1.536$$

Por lo tanto, en la dirección x, se requiere escalar 1.321 y en la dirección Y se requiere escalar 1.536.

#### 4.1.3.10. Sistema estructural

Las estructuras se clasifican según su comportamiento y capacidad sísmica en la Norma Peruana E.030. A cada tipo de sistema estructural se le asigna un factor de reducción de fuerzas sísmicas (R), que refleja la magnitud de las fuerzas sísmicas consideradas durante el diseño y su grado de reducción.



En la dirección X-X se tiene:

**Tabla 8**

*Sistema estructural en la dirección X*

Descripción	Columnas + placas	Total
<b>Fuerza cortante</b>	40.00 tn	40.00 tn
<b>% de fuerza cortante</b>	100 %	100 %

Se presenta la distribución de la fuerza cortante en la dirección X-X, resultando en un valor total de 40.00 toneladas. El 100 % de esta fuerza es absorbida por el sistema estructural conformado por columnas y placas. Esto confirma la participación completa de los elementos resistentes en dicha dirección, cumpliendo con los criterios de diseño sísmico.

En la dirección Y-Y se tiene:

**Tabla 9**

*Sistema estructural en la dirección Y*

Descripción	Columnas + placas	Total
<b>Fuerza cortante</b>	45.89 tn	45.89 tn
<b>% de fuerza cortante</b>	100 %	100 %

El sistema estructural adoptado en la edificación corresponde a un sistema dual, en el cual las columnas, placas y vigas trabajan en conjunto para resistir las cargas aplicadas, proporcionando estabilidad y rigidez a la estructura.

### 4.1.3.11. Cortante basales

Figura 27

*Cortante basal por sismo dinámica en dirección X.*

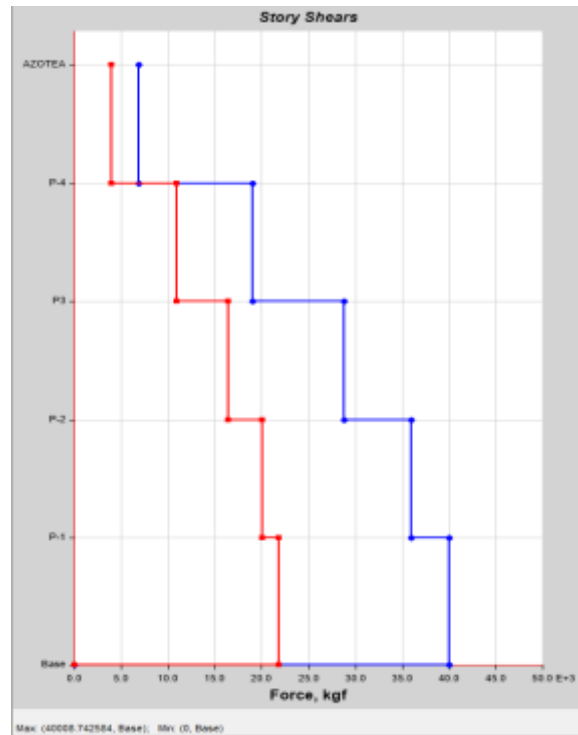
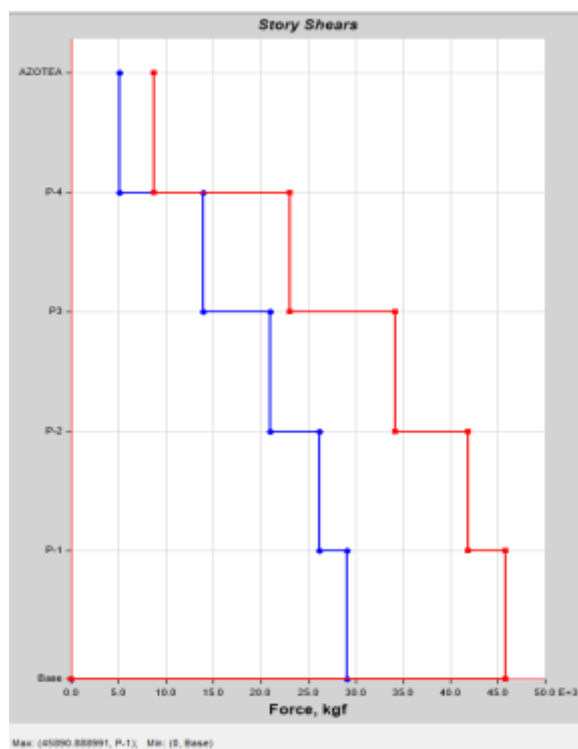


Figura 28

*Cortante basal por sismo dinámica en dirección Y.*



### 4.1.3.12. Modos de vibración y periodos

Representan las formas de deformación del edificio ante sismos.

**Figura 29**

*Modos de vibración*

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0.528	0.1787	0.386	6.289E-06	0.1787	0.386	6.289E-06	0.0687
Modal	2	0.465	0.5787	0.2586	6.348E-06	0.7574	0.6446	1.264E-05	0.0393
Modal	3	0.38	0.0933	0.1615	0	0.8507	0.8061	1.312E-05	0.0168
Modal	4	0.177	0.0132	0.077	0.0001	0.8639	0.8832	0.0001	0.194
Modal	5	0.156	0.078	0.0249	6.135E-06	0.9419	0.908	0.0001	0.0737
Modal	6	0.105	0.0199	0.0601	0.0005	0.9618	0.9681	0.0006	0.127
Modal	7	0.1	0.0011	0.0122	0.0016	0.9629	0.9803	0.0022	0.0003
Modal	8	0.086	0.0326	0.0116	0.0022	0.9955	0.9919	0.0044	0.0208
Modal	9	0.072	2.714E-05	0.0003	0.5645	0.9955	0.9923	0.569	0.0017
Modal	10	0.044	2.248E-06	0.0002	0.3516	0.9955	0.9924	0.9208	0.0006

La participación de la masa supera el 90%, lo que garantiza la confiabilidad de los resultados para su uso en los cálculos correspondientes.

### 4.1.4 Verificar los desplazamientos laterales

#### 4.1.4.1. Desplazamientos laterales – losas convencionales

La normativa establece límites para los desplazamientos laterales permisibles, los cuales dependen de la altura de la estructura y su uso. Estos límites se expresan como porcentajes de la altura total de la edificación.

**Derivas inelásticas calculadas (Rxx=8.00):**

**Tabla 10**

*Desplazamientos laterales en dirección X*

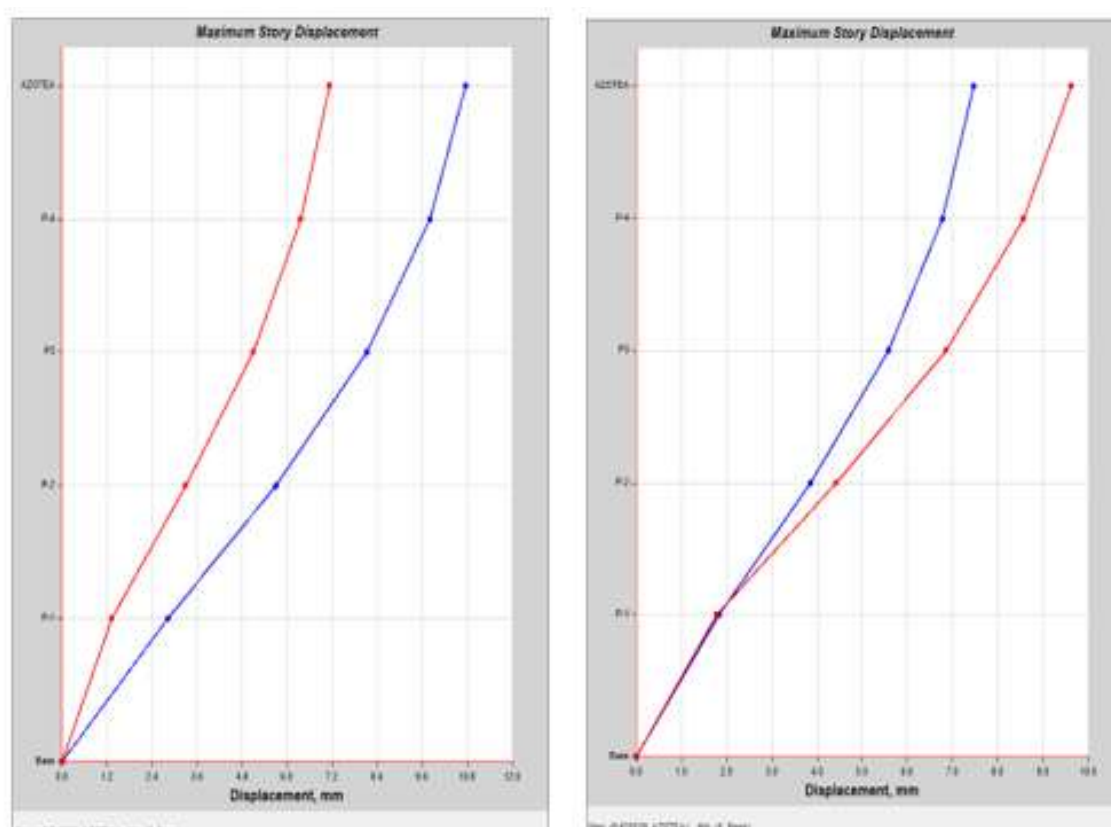
Piso	Altura Piso (mm)	$\Delta$ Elástico (mm)	$\Delta$ Elástico Relativo (mm)	R	Tipo Estructura	$\Delta$ Inelástico relativo (mm)	$\Delta$ ir/hei	$\Delta$ ir/hei (MAX)	¿CUMPLE?
P-1	3000	2.813	2.813	8	regular	16.878	0.0056	0.007	OK
P-2	2800	5.707	2.894	8	regular	17.364	0.0062	0.007	OK
P-3	2800	8.133	2.426	8	regular	14.556	0.0052	0.007	OK

Piso	Altura Piso (mm)	$\Delta$ Elástico (mm)	$\Delta$ Elástico Relativo (mm)	R	Tipo Estructura	$\Delta$ Inelástico relativo (mm)	$\Delta i_r/hei$	$\Delta i_r/hei$ (MAX)	¿CUMPLE?
P-4	2800	9.804	1.671	8	regular	10.026	0.0036	0.007	OK
Azotea	2800	10.749	0.945	8	regular	5.670	0.0020	0.007	OK

Se muestra los desplazamientos laterales y derivas inelásticas calculadas en dirección X, considerando un factor de reducción  $R_{xx} = 8.00$ . Se presentan los desplazamientos elásticos e inelásticos relativos por piso, junto con las derivas  $\Delta i/hei$  comparadas con el límite normativo. Todos los valores obtenidos cumplen con los requisitos establecidos, garantizando el adecuado comportamiento sísmico de la estructura.

**Figura 30**

*Desplazamientos de la estructura en dirección X-X e Y-Y*



**Tabla 11**

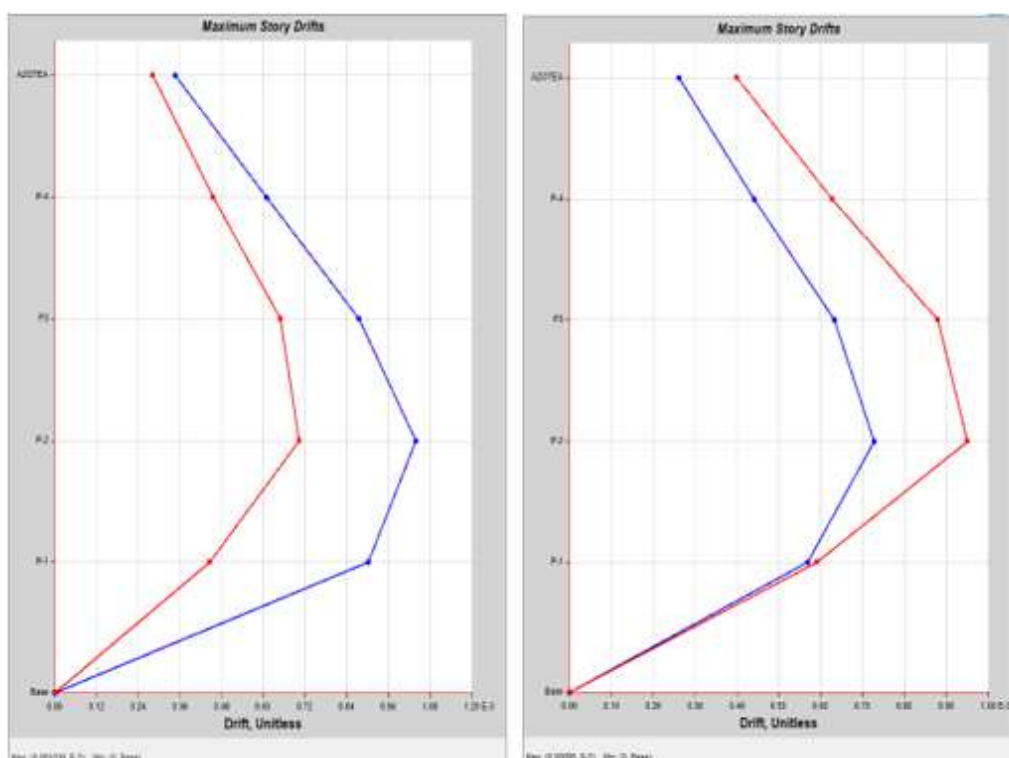
*Desplazamientos laterales en dirección Y*

Piso	Altura Piso (mm)	$\Delta$ Elástico (mm)	$\Delta$ Elástico Relativo (mm)	R	Tipo Estructura	$\Delta$ Inelástico relativo (mm)	$\Delta_i/h_{ei}$	$\Delta_i/h_{ei}$ (MAX)	¿CUMPLE?
P-1	3000	1.773	1.773	8	regular	10.638	0.0035	0.007	OK
P-2	2800	4.421	2.648	8	regular	15.888	0.0057	0.007	OK
P3	2800	6.858	2.437	8	regular	14.622	0.0052	0.007	OK
P-4	2800	8.566	1.708	8	regular	10.248	0.0037	0.007	OK
Azotea	2800	9.626	1.06	8	regular	6.360	0.0023	0.007	OK

Se presenta los desplazamientos laterales y derivas inelásticas en dirección Y, considerando un factor de reducción  $R = 8$ . Se muestran los desplazamientos relativos elásticos e inelásticos por piso, así como las derivas  $\Delta_i/h_{ei}$  comparadas con el límite normativo permitido. Todos los valores cumplen con los criterios establecidos, lo que indica un comportamiento estructural adecuado frente a acciones sísmicas.

**Figura 31**

*Derivas de la estructura en dirección X-X e Y-Y*



#### 4.1.4.2. Desplazamientos laterales – losas pretensadas

Las normas establecen desplazamientos laterales máximos permitidos, proporcionales a la altura del edificio y su función prevista. Se muestra la proporción de la altura total del edificio a la que se aplican estas normas.

#### Derivas inelásticas calculadas ( $R_{xx}=7.20$ ):

Tabla 12

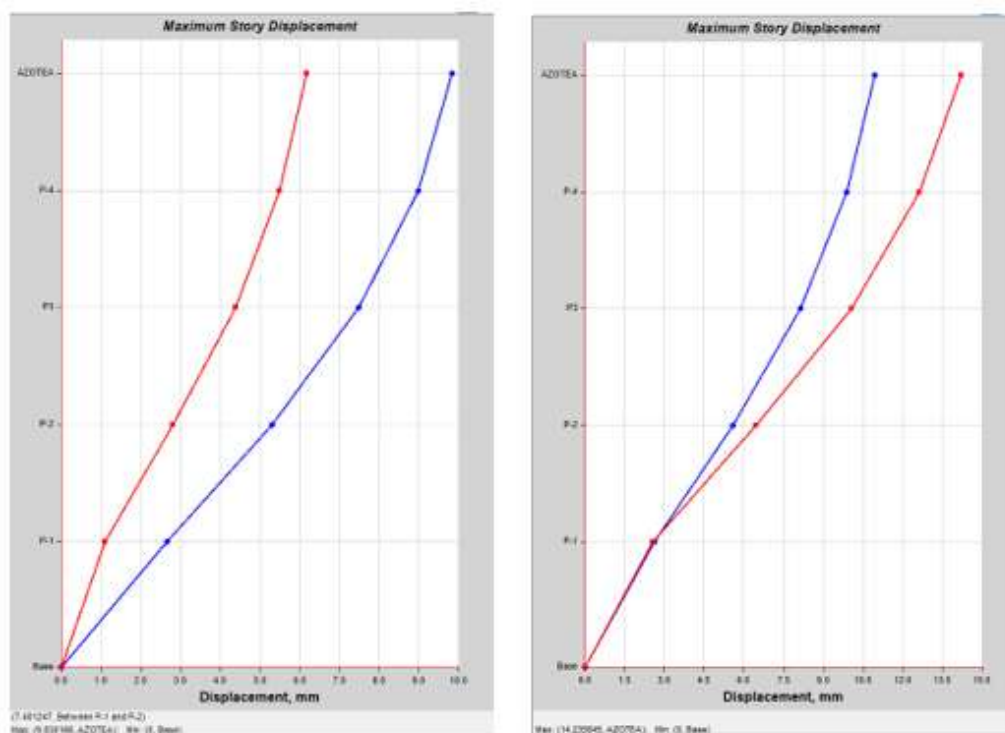
*Desplazamientos laterales en dirección X*

Piso	Altura Piso (mm)	$\Delta$ Elástico (mm)	$\Delta$ Elástico Relativo (mm)	R	Tipo Estructura	$\Delta$ Inelástico relativo (mm)	$\Delta_{ir}/h_{ei}$	$\Delta_{ir}/h_{ei}$ (MAX)	¿CUMPLE?
P-1	3000	2.66	2.66	8	regular	15.960	0.0053	0.007	OK
P-2	2800	5.295	2.635	8	regular	15.810	0.0056	0.007	OK
P3	2800	7.481	2.186	8	regular	13.116	0.0047	0.007	OK
P-4	2800	8.984	1.503	8	regular	9.018	0.0032	0.007	OK
Azotea	2800	9.83	0.846	8	regular	5.076	0.0018	0.007	OK

Se presenta los desplazamientos laterales y derivas inelásticas en dirección X, considerando un factor de reducción sísmica  $R = 6.48$ . Se detallan los desplazamientos relativos elásticos e inelásticos por piso, así como las derivas  $\Delta_i/h_{ei}$  comparadas con el límite normativo. Todos los valores obtenidos se encuentran dentro del rango permitido, cumpliendo con los requisitos de diseño sísmico.

**Figura 32**

Desplazamientos de la estructura en dirección X-X e Y-Y



**Tabla 13**

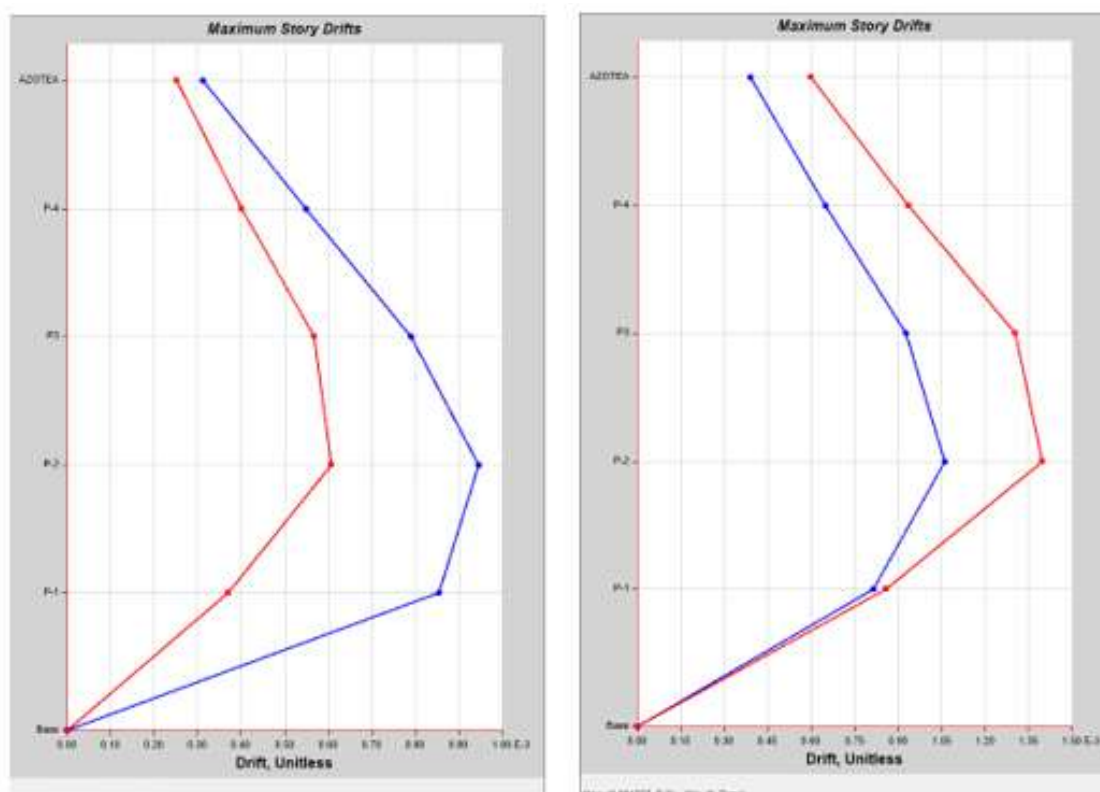
Desplazamientos laterales en dirección Y

Piso	Altura Piso (mm)	$\Delta$ Elástico (mm)	$\Delta$ Elástico Relativo (mm)	R	Tipo Estructura	$\Delta$ Inelástico relativo (mm)	$\Delta_i$ /hei	$\Delta_i$ /hei (MAX)	¿CUMPLE?
P-1	3000	2.568	2.568	6	regular	11.556	0.0039	0.007	OK
P-2	2800	6.464	3.896	6	regular	17.532	0.0063	0.007	OK
P3	2800	10.083	3.619	6	regular	16.286	0.0058	0.007	OK
P-4	2800	12.636	2.553	6	regular	11.489	0.0041	0.007	OK
Azotea	2800	14.236	1.6	6	regular	7.200	0.0026	0.007	OK

Se muestra los desplazamientos laterales y derivas inelásticas en dirección Y, con un factor de reducción sísmica  $R = 7.2$ . Se incluyen los desplazamientos relativos elásticos e inelásticos por nivel y la verificación de derivas  $\Delta_i$ /hei frente al límite normativo de 0.007. Todos los valores cumplen con la normativa, indicando un comportamiento estructural adecuado ante cargas sísmicas.

Figura 33

Derivas de la estructura en dirección X-X e Y-Y



## 4.2 Discusión de resultados.

Según Chambilla (2022) se analizó la respuesta sísmica de edificaciones autoconstruidas comparando losas tradicionales con losas conformadas por viguetas pretensadas y bovedillas de poliestireno, evidenciándose una disminución considerable en el peso estructural global —llegando hasta un 16.09%—. Esta reducción conllevó a un mejor desempeño ante solicitaciones sísmicas, reflejándose particularmente en menores desplazamientos laterales y derivas estructurales.

En el presente estudio, aunque no se utilizó bovedilla, los resultados obtenidos demuestran que el uso de losas pretensadas contribuye a la disminución de la masa estructural, lo cual conlleva a una reducción en las exigencias sísmicas. Se constató que, pese a la presencia de una irregularidad de masa en el nivel P-4, la edificación con losa



pretensada mantuvo desplazamientos y fuerzas cortantes dentro de los rangos aceptables establecidos por la normativa vigente.

Este comportamiento es consistente con los aportes de Chambilla, quien indica que, aunque se logran mejoras globales, pueden presentarse aumentos localizados de desplazamiento o derivas en configuraciones geométricas específicas, particularmente si no se controla adecuadamente la distribución de cargas.

Desde el punto de vista técnico, este resultado subraya la importancia de realizar evaluaciones estructurales detalladas al emplear losas livianas o prefabricadas. Es crucial asegurar una adecuada distribución de masa y rigidez para lograr una respuesta sísmica equilibrada, evitando concentraciones excesivas de demanda que puedan comprometer el desempeño del sistema.

Según Bustinza (2022) Propone un enfoque metodológico sustentado en simulaciones numéricas para evaluar la vulnerabilidad, el nivel de amenaza y el riesgo sísmico en construcciones autoconstruidas de concreto armado y albañilerías ubicadas en la ciudad de Puno. Los resultados de su investigación revelaron una alta vulnerabilidad sísmica, alcanzando el 56%, atribuida principalmente a la carencia de asesoramiento técnico, deficiencias en la configuración estructural y el incumplimiento de las disposiciones normativas vigentes.

Este análisis comparativo refuerza la solidez del presente trabajo, ya que al desarrollarse conforme a los lineamientos normativos vigentes y mediante el uso de herramientas avanzadas de simulación estructural (ETABS), se logró plantear diseños que satisfacen los criterios mínimos de seguridad sísmica, incluso en condiciones con ciertas irregularidades geométricas. La implementación de un sistema estructural aporticado dual (pórticos combinados con muros estructurales) demostró ser eficaz en la reducción de las sollicitaciones laterales generadas por eventos sísmicos.

Reflexión técnica: Mientras Bustinza pone en evidencia la fragilidad estructural de edificaciones levantadas sin asistencia profesional, este estudio corrobora que la aplicación adecuada del Reglamento Nacional de Edificaciones, complementada con un



modelado estructural riguroso, puede minimizar considerablemente los niveles de vulnerabilidad sísmica, incluso en regiones expuestas a una alta amenaza sísmica.

Según Mamani (2024) La evaluación precisa del desempeño estructural frente a eventos sísmicos exige ir más allá de los enfoques lineales tradicionales. En este contexto, el análisis estático no lineal, conocido como pushover, se convierte en una herramienta fundamental para estimar la respuesta real de una estructura ante movimientos sísmicos intensos. Este método permite simular el comportamiento inelástico de los elementos estructurales, estableciendo una curva capacidad-demanda que refleja la degradación progresiva de rigidez y resistencia en función de los desplazamientos laterales. A partir de esta curva, se identifican los niveles de desempeño asociados al control de daño, seguridad de vida o prevención de colapso, según las metodologías propuestas por FEMA 356 o ASCE/SEI 41-17.

Si bien esta investigación no implementó un análisis no lineal tipo pushover, los hallazgos derivados del análisis dinámico espectral modal indican que las edificaciones proyectadas con losas pretensadas evidencian un comportamiento estructural favorable, reflejado en desplazamientos laterales que se mantienen dentro de los rangos aceptables y una distribución adecuada de esfuerzos cortantes. No obstante, la detección de una marcada irregularidad de masa en un nivel específico respalda la advertencia formulada por Mamani respecto a la necesidad de superar las limitaciones del análisis lineal convencional en escenarios con condiciones estructurales críticas.

Aunque el diseño estructural basado en análisis lineales sigue siendo una herramienta válida y extendida, es imprescindible complementarlo con una evaluación más profunda que integre variables como la distribución de rigidez, el comportamiento dinámico de las masas y las posibles discontinuidades inerciales. Estos factores inciden de forma directa en la respuesta sísmica del sistema estructural, por lo que su consideración resulta clave para garantizar un desempeño adecuado ante eventos severos.

## CONCLUSIONES

**General**, el análisis comparativo de viviendas en San Miguel, se determinó que tanto las losas convencionales como las pretensadas cumplen con el Reglamento Nacional de Edificaciones; no obstante, el uso de losas pretensadas ofrece beneficios adicionales, como menor peso estructural y mejor capacidad de disipar energía sísmica, posicionándose como una opción técnica eficiente y recomendable para zonas altamente sísmicas como San Miguel.

**Primera**, se establecieron y utilizaron correctamente los parámetros esenciales requeridos por la normativa técnica peruana, tales como el peso propio, las cargas vivas, las combinaciones de carga, la zonificación sísmica ( $Z=0.35$ ), el tipo de suelo (S2) y los periodos característicos del terreno ( $T_p=0.60$  s;  $T_I=2.00$  s). Estos elementos fueron clave para elaborar los espectros de diseño sísmico, concluyéndose que su adecuada aplicación permite evaluar con precisión la respuesta estructural ante eventos sísmicos, en concordancia con lo establecido por la norma E.030.

**Segunda**, mediante el análisis estático, se detectaron ciertas irregularidades estructurales tanto en planta como en elevación. En la dirección X, ambas edificaciones mostraron esquinas entrantes, mientras que la estructura con losa pretensada también evidenció una irregularidad de masa en la azotea, situación no presente en la edificación con losa convencional. No se encontraron irregularidades asociadas a torsión, pisos blandos, discontinuidades verticales o geometrías inusuales. Estos resultados reflejan que el sistema estructural mantiene una configuración adecuada frente a sismos, siempre que se consideren cuidadosamente las posibles variaciones de masa entre niveles al utilizar losas pretensadas.



**Tercera**, el análisis modal espectral confirmó que las fuerzas cortantes en la base satisfacen los requisitos mínimos de la norma E.030. En la estructura con losa convencional, el escalamiento de la respuesta dinámica fue necesario únicamente en la dirección X; sin embargo, en el caso de la losa pretensada, se requirió ajustar en ambos sentidos (X e Y) debido a la disminución inicial de masa y rigidez. La distribución de las fuerzas cortantes entre columnas y placas fue adecuada, lo que evidencia un desempeño eficiente del sistema estructural dual.

**Cuarta**, los desplazamientos y derivas inelásticas se mantuvieron dentro de los límites normativos en ambos sistemas, siendo levemente mayores en la losa pretensada sin afectar su estabilidad, lo que confirma su viabilidad en edificaciones de hasta seis pisos si se controlan irregularidades de masa.

## RECOMENDACIONES

**Primera**, se recomienda considerar la implementación de losas pretensadas en futuros proyectos de edificación en zonas sísmicamente activas como San Miguel, ya que, además de cumplir con los requisitos normativos, permiten optimizar el diseño estructural al reducir cargas gravitacionales y mejorar el desempeño sísmico de las construcciones, aportando mayor seguridad, eficiencia técnica y sostenibilidad en contextos urbanos vulnerables.

**Segunda**, se recomienda que en todo proceso de diseño estructural se priorice la correcta identificación y aplicación de los parámetros sísmicos exigidos por la normativa peruana, ya que su uso adecuado no solo garantiza el cumplimiento del Reglamento Nacional de Edificaciones, sino que también permite generar modelos estructurales más precisos y confiables, capaces de predecir con mayor exactitud la respuesta ante sismos, fortaleciendo así la seguridad y eficiencia de las edificaciones en zonas de alta peligrosidad sísmica.

**Tercera**, se recomienda a futuras investigaciones podrían analizar configuraciones arquitectónicas con diferentes geometrías en planta y altura, con el fin de evaluar la sensibilidad de la estructura ante irregularidades más severas. También se recomienda evaluar el comportamiento ante cargas sísmicas horizontales bidireccionales simultáneas para una mejor representación del efecto torsional.

**Cuarta**, se recomienda que, a pesar de presentar desplazamientos y derivas ligeramente superiores, estos se mantienen dentro de los márgenes permitidos por la normativa, lo que evidencia que, con un diseño estructural cuidadoso, este tipo de losa puede ofrecer eficiencia estructural sin comprometer la estabilidad ni la seguridad del edificio.



**Quinta**, se recomienda investigar el comportamiento a largo plazo de los desplazamientos en estructuras con losas pretensadas, considerando efectos diferidos como la fluencia y la retracción. Asimismo, se propone incluir modelos con sistemas de aislamiento sísmico o disipadores de energía para comparar el control de desplazamientos en edificaciones en zonas de alta peligrosidad sísmica.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, M. M., & Manzoor, K. M. (2022). A Comparative Study On The Seismic Performance Of Multi-storey Buildings With Different Structural Systems. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1026(1), 012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1026/1/012020>
- Ahmed, M. S., & Patil, P. S. (2024). Analysis Of Multistoried RCC Building With Optimization Of Shear Wall And Belt Truss System Under Different Seismic Zones Using Software Techniques. *Journal of Scientific Research and Technology*, 63-80. <https://doi.org/10.61808/jsrt142>
- Ajmera, Y., & Sharma, A. K. (2023). *Behavioral Analysis Of A System Consisting Of A 20-Story Structure RC Frame And A Shear Wall Using ETABS*. 10(6).
- Alfonso, B. M., Eusebio, M. O., Carlos, & Flavio, M. O., Juan. (2020). *Metodología de la investigación. Métodos y técnicas*. Grupo Editorial Patria.
- Almasabha, G., & Al-Mazaidh, R. (2023). Simple Truss Model to estimate the shear strength of short links in the Eccentrically Braced Frame (EBF) steel system. *Thin-Walled Structures*, 188, 110811. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2023.110811>
- Al-sabaei, M. S., Dabhekar, K. R., & Khedikar, I. (2023). State of art on seismic comparison of different types (V, diagonal and X) of bracings on different shapes of buildings (L, H, T and rectangular) with response spectrum method. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.07.016>
- Asenjo Lozano, E. J. (2022). *Análisis Comparativo de Costos y Tiempo Entre Sistemas Estructurales Aporticado y Albañilería Confinada de una Edificación en el Distrito de Jaén—2021*. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/452>
- Attallah, I. A. (2025). Optimal Structural System Selection and Placement for a High-Rise Concrete Building Affected by Earthquake Loads. *ERJ. Engineering Research Journal*, 48(4), 305-314. <https://doi.org/10.21608/erjm.2025.357140.1384>



- Attarwala, H., Rasal, S. A., & Jadhav, R. R. (s. f.). *Effective Lateral Design of Modern High Rise Structure Using Outriggers with Belt Truss System*. 10(11).
- Bustanza Sancho, M. (2022). Vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico de edificaciones de concreto armado y albañilería de la "Urbanización Enace"—Puno, simulados numéricamente en escenarios sísmicos. *Universidad Nacional del Altiplano*. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18446>
- Çarbaş, S., Taymuş, R. B., & Özdemir, M. (2025). Examining the effects of different seismic base isolators on the seismic behavior of a real-size steel truss structure. *Challenge Journal of Structural Mechanics*, 11(2), 106. <https://doi.org/10.20528/cjsmec.2025.02.005>
- Chambilla Choquecota, S. A. (2022). Comparación del comportamiento sísmico de viviendas autoconstruidas con losa convencional frente a losa de viguetas pretensadas más poliestireno, Yunguyo – Puno, 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88864>
- Cordero Cedeño, G. T., & Saldaña Heras, R. A. (2024). *Diseño de vivienda unifamiliar de dos niveles con sistema aporticado y de confinamiento aplicando elementos finitos en Santa Elena*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/63158>
- Cruz Garcia, E. Y. (2022). *Comportamiento Estructural de una Vivienda de 4 Niveles con la Combinación del Sistema de Albañilería Confinada y Sistema Aporticado*. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/457>
- Cusi Mamani, H. M. (2022). Evaluación y comportamiento estructural de un proyecto de vivienda unifamiliar de cuatro niveles ubicado en el sector Viñani II, Tacna 2022. *Universidad Privada de Tacna*. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2478>
- Gómez Fajardo, M. E. (2022). *Diseño y análisis estructural dinámico no lineal de una vivienda unifamiliar de dos pisos utilizando el método constructivo Steel Framing con una losa de entrepiso Steel Deck aplicando la norma ecuatoriana de la*



construcción y el código ACI 318-19.

<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8436>

Gómez, M. M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Editorial Brujas.

González, H. D. L. (2022). *Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto*. Ecoe Ediciones.

Guadalupe, G. D., & Concepción, G. D. (2020). *Metodología de la investigación*. Grupo Editorial Patria.

Guettala, S., Guettala, S., & Khelaifia, A. (2025). Nonlinear seismic assessment of high-performance reinforced concrete buildings. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 11(1), 13. <https://doi.org/10.1007/s41024-025-00686-6>

Gupta, P., & Gupta, C. (2024). Seismic performance evaluation of reinforced concrete flat slab buildings using ETABS. *Asian Journal of Civil Engineering*, 25(7), 4995-5007. <https://doi.org/10.1007/s42107-024-01094-w>

Iglesias, M. E. (2021). *Metodología de la investigación científica: Diseño y elaboración de protocolos y proyectos*. Noveduc.

Kadhim, Y. M., & Abdulridha, A. J. (2025). Numerical simulation of soil-structure interaction on the seismic response of reinforced concrete buildings. *Asian Journal of Civil Engineering*, 26(7), 2869-2885. <https://doi.org/10.1007/s42107-025-01349-0>

Luna Hinojosa, J. P. (2021). Diseño y evaluación del desempeño sismorresistente de un edificio aporricado de concreto armado de diez pisos, Abancay, Apurímac-2021.

Repositorio Institucional - UCV.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/69292>

Maleki, M., & Nabizadeh, A. (2021). Seismic performance of deep excavation restrained by guardian truss structures system using quasi-static approach. *SN Applied Sciences*, 3(4), 417. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04415-9>

Marquez Pereira, O. M. (2022). *Análisis comparativo del comportamiento estructural y económico de viviendas de uno y dos pisos, diseñadas con sistema de*



*mampostería confinada y sistema de pórticos.*

<https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6814>

Melendez Tomas, A. E., & Zocon Namoc, R. J. (2024). Modelamiento estructural de una edificación multifamiliar de 14 niveles considerando sistema aporticado, distrito El Porvenir, provincia Trujillo, La Libertad. *Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/158745>

Merino Campoverde, J. E., & Meza Bure, L. A. (2022). *Evaluación del Comportamiento Sismorresistente de un Edificio de Concreto Armado de 04 Niveles Empleando la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente Ubicado en la Urbanización Las Flores, Jaén – 2021*. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/453>

Paikun, Pirmansyah, Suhendi, C., Triono, & Vuegen, N. (2021). Design of reinforced concrete truss systems in earthquake-resistant high-rise buildings. *INTERNATIONAL JOURNAL ENGINEERING AND APPLIED TECHNOLOGY (IJEAT)*, 4(2), 101-115. <https://doi.org/10.52005/ijeat.v4i2.60>

Paitán, H. Ñ. (2014). *Metodología de la investigación: Cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis*. Ediciones De La U Ltda.

Patel, M. R., & Patel, P. V. (2025). Seismic Behavior of Multi-storey Conjoined Frame Structures. En M. D. Goel, R. Biswas, & S. Dhanvijay (Eds.), *Recent Developments in Structural Engineering, Volume 5* (pp. 57-66). Springer Nature.  
[https://doi.org/10.1007/978-981-97-7043-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-97-7043-4_5)

Pérez Benito, C. E. (2019). Análisis del comportamiento sísmico de una edificación empleando diferentes sistemas estructurales – Lima 2019. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49046>

Quispe Turpo, R. (2023). *Derecho a la manifestación y su limitación al derecho a la vida en el contexto del Distrito de Juliaca, 2023*.  
<https://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/3157>

Reyes, E. (2022). *Metodología de la Investigación Científica*. Page Publishing Inc.



- Rude, D. A., & Rangari, H. (s. f.). *Analysis and Design Multi-storey Steel Staggered-Truss System RC Slab Using ETABs*.
- Sajjanshetty, M. B., & Galanna, P. (2023). A Study On Static And Dynamic Behaviour Of Outrigger Structural System For Different Structural Configuration. *Journal of Scientific Research and Technology*, 37-52.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10045307>
- Sampieri, R. H. (2018). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA*. McGraw-Hill Education.
- Sanchez Chavez, J. (2024). Comportamiento sísmico de un sistema estructural de concreto armado aporticado con diferentes tipos de losas, Ate, Lima 2023.  
*Repositorio Institucional - UCV*.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/154261>
- Sthapit, N., Shrestha, R. K., & Paudel, S. (2023). Seismic Response Analysis of High-Rise Reinforced Concrete Buildings Using Outrigger System. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 104(4), 943-952. <https://doi.org/10.1007/s40030-023-00758-1>
- Yaqubi, E., Rahimi, A. J., & Fakor, N. (s. f.). *Seismic Performance of Tall Buildings with and Without Outrigger and Belt Truss Systems*.

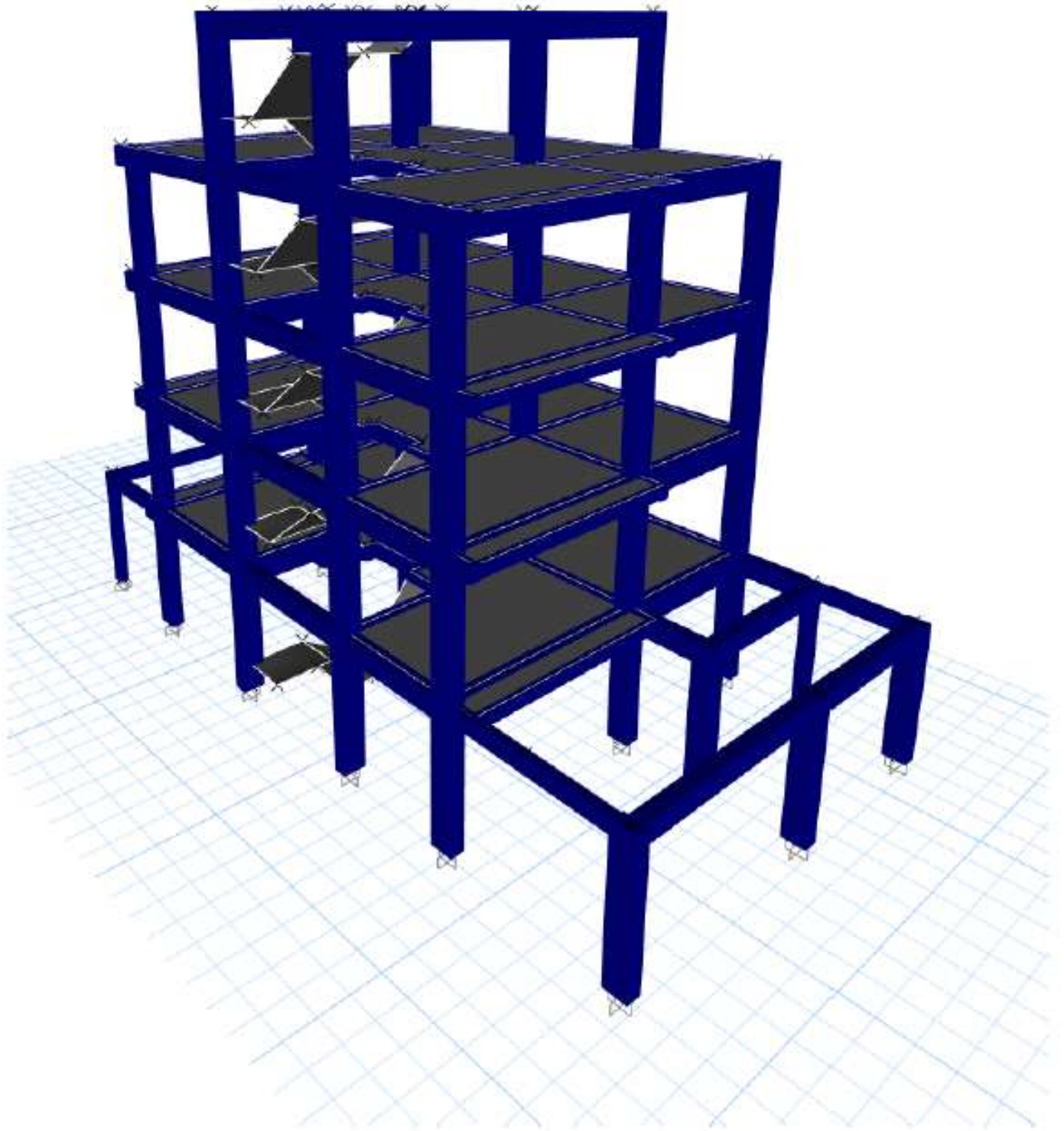


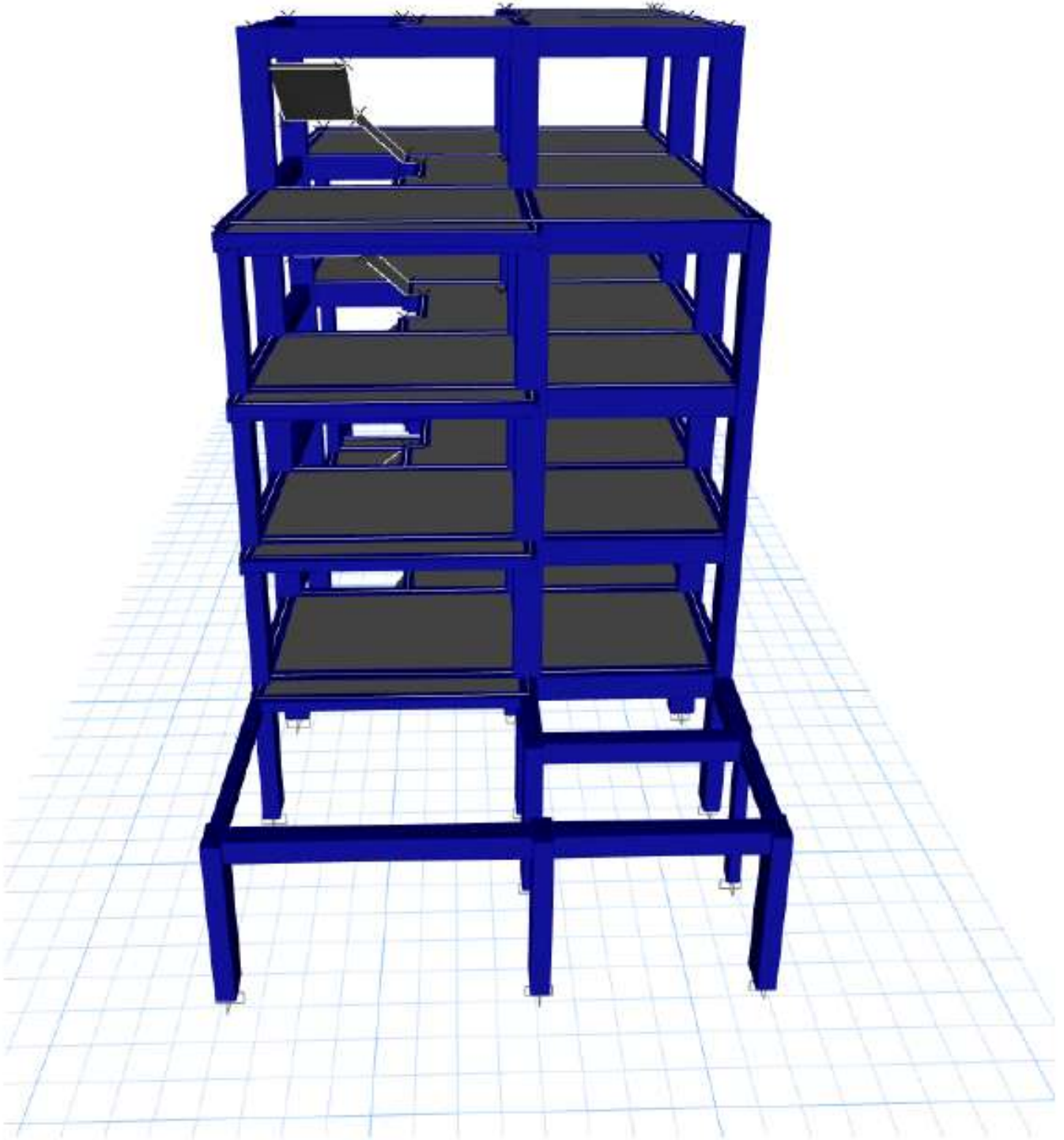
## ANEXOS



### Anexo 1. Matriz de Consistencia

Título: <b>EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE 5 NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y CONVENCIONALES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025</b>				
<b>Problemas</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Inst. de Medición</b>
<p><b>Problema General:</b> ¿Cómo es el comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel 2025?</p>	<p><b>Objetivo General:</b> Evaluar el comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel 2025.</p>	<p><b>Hipótesis General:</b> El comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel 2025, variará significativamente.</p>		
<p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>¿Cuáles son los parámetros mínimos para la determinación del comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel?</p> <p>¿Cuáles son las irregularidades estructurales mediante el análisis estático de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel?</p> <p>¿Cuáles son las fuerzas cortantes en la base por medio de un análisis dinámico modal espectral de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel?</p> <p>¿Cuáles son los desplazamientos laterales de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Identificar los parámetros mínimos para la determinación del comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel.</p> <p>Verificar las irregularidades estructurales mediante el análisis estático de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel.</p> <p>Analizar las fuerzas cortantes en la base por medio de un análisis dinámico modal espectral de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel.</p> <p>Verificar los desplazamientos laterales de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel.</p>	<p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>Los parámetros mínimos para la determinación del comportamiento sísmico de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel, serán similares para ambos análisis.</p> <p>Las irregularidades estructurales mediante el análisis estático de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel, se presentarán en planta y en altura.</p> <p>Las fuerzas cortantes en la base por medio de un análisis dinámico modal espectral de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel, estarán dentro de las cortantes aceptables.</p> <p>Los desplazamientos laterales de un sistema estructural aporticado de concreto armado de 5 niveles con losas pretensadas y convencionales en el distrito de San Miguel, cumplirán en ambos sistemas.</p>	<p><b>Variable Independiente</b></p> <p>Losa convencional y pretensada</p> <p><b>Indicadores:</b> <i>Armado tradicional de losa convencional</i> <i>Pretensados con aceros de losa pretensada</i></p> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <p><i>Comportamiento sísmico de sistema estructural aporticado</i></p> <p><b>Indicadores:</b> <i>Parámetros mínimos</i> <i>Irregularidades estructurales</i> <i>Fuerzas cortantes</i> <i>Desplazamientos laterales</i></p>	<p>Planos estructurales</p> <p>Especificaciones técnicas</p> <p>Simulaciones sísmicas (ETABS) RNE E-030</p>







ANEXO 1  
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS  
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN  
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital

Fecha de entrega: 29-12-2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: GROVER JARMENS RUSSBEL HILASACA MARTINEZ

Dirección: Jr. 31 DE MARZO SAN FRANCISCO ETAPA I Mz.B Lt.21

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 70024679

Teléfono: 933 201 895 email: russbellgr28@gmail.com

Nombres y Apellidos:

Dirección:

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:

Teléfono: email:

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL

Título o Grado Académico a optar: TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Asesor: M.Sc. JESÚS ESTEBAN CASTILLO MACHACA

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación  Tesis  Trabajo de Suficiencia Profesional  Trabajo Académico

Título: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN SISTEMA ESTRUCTURAL APORTICADO

DE CONCRETO ARMADO DE 5 NIVELES CON LOSAS PRETENSADAS Y

CONVENCIONALES EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): COMPORTAMIENTO SÍSMICO, SISTEMA APORTICADO, LOSA CONVENCIONAL, LOSA PRETENSADA, ETABS, ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV <sup>1,2</sup>?  
1

<sup>1</sup> Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entre otros relacionados.

<sup>2</sup> Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

- Bachiller  Titulo  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE MATERIALES - P17

  
Firma de Autor



huella digital

29-12-2025

Fecha