

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**



**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO EN EDIFICACIONES  
MULTIFAMILIARES CON LICENCIA APROBADA CON DIVERSOS  
TIPOS DE SUELOS EN EL 2022, PUNO**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. Dante Salas Mercado**  
**ORCID: 0000-0003-0656-1979**

**Asesor:**

**Mtra. Dina Marlene Cotrado Flores**  
**ORCID: 0000-0002-4262-5733**

**Para obtener el grado académico de:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**

**TACNA – PERÚ**  
**2024**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**

**ESCUELA DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN INGENIERIA CIVIL**

**Tesis**

**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO EN  
EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES CON LICENCIA  
APROBADA CON DIVERSOS TIPOS DE SUELOS EN EL 2022,  
PUNO”**

Presentado por:

Bach. Dante Salas Mercado

**Tesis sustentada y aprobada el 9 de noviembre del 2024; ante el siguiente  
jurado examinador:**

**PRESIDENTE:** Dr. Pedro Valerio Maquera Cruz

**SECRETARIO:** Mag. Henry Antonio Aguilar Chuquimia

**VOCAL:** Mtro. Edgar Hipólito Chaparro Quispe

**ASESOR:** Mtra. Dina Marlene Cotrado Flores

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Dante Salas Mercado, en calidad de egresado de la Maestría en ingeniería Civil con mención en Estructuras de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 46842645.

Soy autor de la tesis titulada:

“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO EN EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES CON LICENCIA APROBADA CON DIVERSOS TIPOS DE SUELOS EN EL 2022, PUNO”, con asesora: Mtra. Dina Marlene Cotrado Flores.

### DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de Maestro En Ingeniería Civil Con Mención En Estructuras, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para la obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 20 % de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de tercero con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y Fecha: Tacna, 9 de noviembre del 2024



Dante Salas Mercado

DNI: 46842645

## **DEDICATORIA**

Para mis padres, Dante Salas Ávila e Yliana Mercado Quiroz quienes siempre serán el motor de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mis sinceros agradecimientos a mi asesora la Mg. Dina Marlene Cotrado flores por su guía y tiempo para desarrollar la presente investigación. Al jurado examinador el cual permitió la mejora del estudio.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>Pág.</b>
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....	iii
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xii
RESUMEN .....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1
<b>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA .....</b>	<b>4</b>
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.2.1. Interrogante principal .....	7
1.2.2. Interrogantes secundarias .....	7
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.4.1. Objetivo General .....	9
1.4.2. Objetivos específicos .....	9
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	10
2.2. BASES TEÓRICAS .....	14
2.2.1. Autorizaciones de construcción .....	14
2.2.2. Modalidades de aprobación.....	15
2.2.3. Importancia de los estudios de mecánica de suelos .....	16
2.2.4. Tipos de suelos.....	17
2.2.5. Perfiles de suelo .....	17
2.2.6. Comportamiento sísmico .....	18

2.2.7. Análisis estructural.....	18
2.2.8. Control de derivas .....	19
2.2.9. Pórticos estructurales .....	19
2.2.10. Tipos de fallas .....	20
2.2.11. Consideraciones generales del Análisis no lineal .....	20
2.2.11.1. Análisis estático no lineal .....	21
2.2.11.2. Análisis no lineal geométrico .....	21
2.2.11.3. Análisis no lineal mecánico o del material .....	22
2.2.12. Desempeño sísmico de una estructura .....	23
2.2.12.1. Totalmente operacional.....	24
2.2.12.2. Operacional u ocupación inmediata.....	25
2.2.12.3. Seguridad de vida.....	25
2.2.12.4. Prevención al colapso .....	26
2.2.13. Estimación del punto de desempeño .....	28
2.2.13.1. Procedimiento según el ATC - 40.....	29
2.2.13.2. Procedimiento según el FEMA 440.....	37
2.2.13.3. Método de los coeficientes de desplazamientos modificado (ASCE 41-13) .....	42
2.3. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS .....	45
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>47</b>
3.1. HIPÓTESIS .....	47
3.1.1. Hipótesis general.....	47
3.1.2. Hipótesis específicas .....	47
3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	48
3.2.1. Identificación de la variable independiente.....	48
3.2.1.1. Indicadores.....	48
3.2.1.2. Escala para la medición de la variable.....	48
3.2.2. Identificación de la variable dependiente.....	48
3.2.2.1. Escala para la medición de la variable.....	48
3.2.3. Variables intervinientes.....	49
3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	49

3.4.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	49
3.5.	Diseño de Investigación .....	49
3.6.	ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	49
3.7.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	50
3.7.1.	Unidad de estudio.....	50
3.7.2.	Población.....	50
3.7.3.	Muestra.....	50
3.8.	PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS .....	51
3.8.1.	Procedimiento .....	51
3.8.2.	Técnicas.....	51
3.8.3.	Instrumentos.....	52
	<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....</b>	<b>53</b>
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO .....	53
4.2.	DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	63
4.3.	RESULTADOS.....	63
4.3.1.	Clasificación estructural de las edificaciones multifamiliares .....	63
4.3.2.	Evaluación de cumplimiento de las distorsiones admisibles de entre piso de las edificaciones multifamiliares.....	66
4.3.3.	Desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares.....	67
4.4.	PRUEBA ESTADÍSTICA .....	73
4.5.	Comprobación de hipótesis .....	75
4.6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	75
4.6.1.	Categorización estructural de las edificaciones multifamiliares.....	75
4.6.2.	Grado de cumplimiento de las distorsiones admisibles de entre piso de las edificaciones multifamiliares .....	76
4.6.3.	Desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares.....	77
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>80</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
	<b>APÉNDICE.....</b>	<b>89</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Factor de modificación de amortiguamiento $K$ .....	34
Tabla 2	Valores mínimos permitidos de SRA y SRV .....	35
Tabla 3	Ecuaciones del amortiguamiento efectivo según la ductilidad .....	37
Tabla 4	Ecuaciones optimizadas del amortiguamiento efectivo según la ductilidad.....	38
Tabla 5	Ecuaciones del periodo efectivo según la ductilidad .....	38
Tabla 6	Ecuaciones optimizadas del periodo efectivo según la ductilidad. ....	39
Tabla 7	Propiedades de los materiales para el modelamiento estructural y la aplicación de cargas gravitacionales .....	55
Tabla 8	Fuerzas en la dirección X y Y para cada piso .....	59
Tabla 9	Caracterización estructural de las edificaciones con licencia aprobada, Variables continuas .....	64
Tabla 10	Caracterización estructural de las edificaciones con licencia aprobada, Variables discretas.....	65
Tabla 11	Distorsión de entre piso de las edificaciones con licencia aprobada..	66
Tabla 12	Tabla de frecuencias del punto de desempeño y demanda sísmica de las edificaciones con licencia aprobada .....	69
Tabla 13	Desempeño de las edificaciones según el tipo de suelo y la demanda sísmica en ambas direcciones.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Derivas de cada material .....	19
Figura 2	Respuesta de Análisis lineal y no lineal .....	21
Figura 3	Comportamiento dinámico de vigas y columnas .....	23
Figura 4	Niveles de desempeño o estados limites en edificaciones .....	24
Figura 5	Matriz de los objetivos de desempeño .....	27
Figura 6	Conversión de la curva de capacidad a formato ADRS .....	29
Figura 7	Bilineal de la curva de capacidad.....	32
Figura 8	Amortiguamiento $\beta_0$ para reducir el espectro de capacidad .....	33
Figura 9	Estimación del punto de desempeño de prueba .....	36
Figura 10	Determinación del punto de desempeño .....	36
Figura 11	Interacción del espectro de capacidad y de demanda para encontrar el punto de desempeño .....	42
Figura 12	Plano arquitectónico de la edificación con licencia aprobada N° 11754	
Figura 13	Modelo estructural de la edificación con licencia aprobada N° 117..	55
Figura 14	Plano de tipos de suelos del PDU de Puno.....	56
Figura 15	Distribución y cuantía de acero en columnas y vigas, respectivamente de la edificación con licencia aprobada.....	58
Figura 16	Caso de Carga del Push over con los parametros utilizados .....	60
Figura 17	Creación de las Rotulas plásticas para vigas con los parámetros correspondientes.....	61
Figura 18	Creación de rotulas plásticas en columnas con los parámetros utilizados .....	62
Figura 19	Curvas de capacidad de las edificaciones con licencia aprobada (a) Dirección X, y (b) Dirección Y .....	68
Figura 20	Correlación entre variables.....	74
Figura 21	Circulo de correlaciones según componentes principales.....	75

**ÍNDICE DE APÉNDICES**

	Pág.
APÉNDICE 1. Matriz de consistencia .....	89
APÉNDICE 2. Matriz de datos recolectados .....	90

## RESUMEN

Este estudio evalúa el desempeño sísmico de edificaciones multifamiliares en Puno, Perú, aprobadas por la municipalidad provincial. Estas edificaciones presentan variabilidad en características estructurales como área (26 m<sup>2</sup> a 118.6 m<sup>2</sup>), peso (95.7 a 454.0 toneladas), altura de pisos (2.5 m a 4.4 m en el primer piso, 2.4 m a 3.4 m en pisos superiores) y periodo de vibración (0.5 s a 2.6 s), lo cual impacta su cumplimiento con la norma E030 del Perú y su resistencia sísmica. La predominante ubicación en suelos S2 y S3, propensos a amplificar ondas sísmicas, agrava el problema. Los objetivos del estudio son identificar vulnerabilidades estructurales y proponer ajustes en el diseño para mejorar la seguridad sísmica. La metodología incluye un análisis detallado de las características estructurales correlacionadas con el tipo de suelo y utilizando análisis de componentes principales. Los hallazgos subrayan la necesidad urgente de ajustes en el diseño estructural, como la implementación de técnicas de retrofitting, para cumplir con las normativas y mejorar la resistencia sísmica. Se destaca la importancia de considerar cuidadosamente el diseño y la construcción de edificaciones multifamiliares en Puno para garantizar la seguridad y estabilidad de la comunidad ante eventos sísmicos potencialmente devastadores.

**Palabras claves:** Desempeño sísmico, edificaciones, No lineal, Puno, Vulnerabilidad.

## ABSTRACT

This study evaluates the seismic performance of multifamily buildings in Puno, Peru, approved by the provincial municipality. These buildings exhibit variability in structural characteristics such as area (26 m<sup>2</sup> to 118.6 m<sup>2</sup>), weight (95.7 to 454.0 tons), floor height (2.5 m to 4.4 m on the first floor, 2.4 m to 3.4 m on upper floors), and vibration period (0.5 s to 2.6 s), impacting their compliance with Peru's E030 standard and seismic resistance. Their predominant location in S2 and S3 soils, prone to amplifying seismic waves, exacerbates the issue. The study's objectives are to identify structural vulnerabilities and propose design adjustments to enhance seismic safety. The methodology involves a detailed analysis of structural characteristics correlated with soil type and using principal component analysis. Findings emphasize the urgent need for structural design adjustments, such as implementing retrofitting techniques, to comply with regulations and improve seismic resistance. The importance of carefully considering the design and construction of multifamily buildings in Puno is highlighted to ensure community safety and stability against potentially devastating seismic events.

**Keywords:** Seismic performance, buildings, Nonlinear, Puno, Vulnerability.

## INTRODUCCIÓN

El Perú, por su ubicación cercana al borde de subducción entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, enfrenta constantemente el riesgo de terremotos, convirtiéndose en uno de los países más vulnerables a este tipo de eventos. La región de Puno no es una excepción, aunque los sismos no sean fenómenos recurrentes, la presencia ocasional de estos eventos conlleva potenciales consecuencias devastadoras debido a la falta de consideraciones sísmicas adecuadas en el diseño de edificaciones.

En el 2022, se aprobaron 174 licencias de construcción en Puno, de las cuales 115 corresponden a edificaciones multifamiliares. Estas edificaciones presentan variabilidad en área (26 m<sup>2</sup> a 118.6 m<sup>2</sup>), peso (95.7 a 454.0 toneladas), altura de pisos (2.5 m a 4.4 m en el primer piso, 2.4 m a 3.4 m en pisos superiores) y periodo de vibración (0.5 s a 2.6 s). La evaluación del desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares en Puno es esencial para comprender su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos y para identificar áreas de mejora en el diseño y la construcción. Estas edificaciones, que representan una parte significativa del tejido urbano, albergan a numerosas familias y comunidades, por lo que su estabilidad estructural es crucial para la seguridad y el bienestar de la población.

El presente estudio se propone abordar esta problemática mediante una evaluación exhaustiva del desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares en Puno aprobadas por la municipalidad provincial de Puno, centrándose en aspectos clave como el tipo de suelo, las características estructurales y el cumplimiento con las normativas de diseño sismorresistente. Además, se analizarán las correlaciones entre estos factores y se utilizará un análisis de componentes principales para comprender la variabilidad de los datos y su implicación en el diseño sísmico efectivo.

El objetivo final de esta investigación es proporcionar información relevante que contribuya a mejorar el diseño y la construcción de edificaciones multifamiliares en Puno, además de identificar el cumplimiento normativo en la

aprobación de las licencias de construcción, fortaleciendo así su capacidad de resistencia ante eventos sísmicos y promoviendo la seguridad y estabilidad de la comunidad en esta región vulnerable.

La presente La tesis está dividida en cuatro capítulos principales:

#### Capítulo I: El Problema

- a) Se refiere a la introducción del problema de investigación.
- b) Contiene el planteamiento y formulación del problema, junto con las justificaciones y objetivos de la investigación.

#### Capítulo II: Marco Teórico

- c) Incluye antecedentes de la investigación y bases teóricas relevantes.
- d) Define conceptos importantes relacionados con el tema de estudio.

#### Capítulo III: Marco Metodológico

- e) Describe la metodología utilizada en la investigación, incluyendo hipótesis, operacionalización de variables, tipo y nivel de investigación, población y muestra, así como el procedimiento y los instrumentos utilizados para la recolección de datos.

#### Capítulo IV: Resultados

- f) Describe el trabajo de campo, el diseño de la presentación de los resultados, los resultados obtenidos, las pruebas estadísticas realizadas y la discusión de los resultados.

#### Conclusiones y Recomendaciones

- g) Expone las conclusiones derivadas del análisis de los resultados, resaltando los hallazgos más significativos y su relevancia en el contexto del estudio.

- h) Ofrece recomendaciones basadas en las conclusiones, con el objetivo de mejorar el diseño y construcción de edificaciones multifamiliares en Puno y proporcionar sugerencias para futuras investigaciones en el área.

## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Debido a su localización cercana al borde donde se realiza el efecto de subducción entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana (Gobierno Regional de Puno (GRP), 2019), el Perú es considerado uno de los países con mayor riesgo de terremotos, ya que presenta con frecuencia actividad sísmica (CERSA, 2023). Las principales características de los sismos es la ubicación de epicentro y la profundidad del foco, siendo esta última la más importante, ya que cuando se realiza a menor distancia de la superficie aumenta su poder destructivo (Tavera, 2008).

Un factor que aumenta la destrucción provocada por un sismo es la presencia de fallas geológicas (Rubell, 2002), las cuales aumentan la probabilidad de tener efectos negativos como los daños en edificaciones (colapso de edificaciones, inhabilitación de edificaciones) y lo que es peor pérdidas humanas (Morejón-Blanco *et al.*, 2017). Tras la preocupación de estos probables daños en 1977 en el Perú publicó la primera norma de diseño sismorresistente (DSR) (Muñoz, 2018), con el fin de establecer condiciones mínimas para el diseño de

edificaciones frente acciones sísmicas y además disminuir los daños a la propiedad (RNE, 2018a).

Con el transcurrir de los años esta norma fue mejorando en cuanto a las exigencias del diseño de los edificios, tras el aprendizaje de los efectos ocasionados de varios terremotos (Muñoz, 2018), llegando así a nuestra actual y vigente norma, publicada en el 2018. Esta norma establece consideraciones para el DSR utilizando cinco factores que son: zonificación (Z), uso o importancia (U), el perfil del suelo (S), la amplificación sísmica (C) y el coeficiente básico de reducción sísmica (R), los que son importantes para realizar el diseño sismorresistente no lineal de edificaciones, estos procedimientos son de dos tipos, el análisis estático y el análisis dinámico modal espectral. (RNE, 2018a).

Estos dos métodos se diferencian en su aplicación, principalmente por la zonificación (Shahsahebi *et al.*, 2020), debido a que el análisis estático según la norma DSR especifica que se puede utilizar en zonificación de categoría 1 en todo tipo de edificaciones. Además, este método se puede aplicar en otras zonas sísmicas tomando en cuenta que las edificaciones sean regulares y tenga una altura menor a 30 metros. Mientras que, el análisis dinámico modal espectral se puede utilizar para cualquier tipo de edificación y su zonificación.

Dentro de la tipología de las edificaciones tenemos cuatro tipos que se clasifican como: esenciales, las cuales son estructuras que deben seguir operando tras un evento sísmico; las importantes, son donde se reúnen gran cantidad de personas; las comunes, donde se encuentran las viviendas multifamiliares y por ultimo las edificaciones temporales, que como su nombre lo dice se mantienen en el tiempo temporalmente. Dentro de todo este grupo de edificaciones que presentan un mayor porcentaje de construcción son las edificaciones comunes, debido a que contiene viviendas familiares, multifamiliares y donde se desarrolla actividades comerciales (Morici *et al.*, 2022).

Estas edificaciones son evaluadas por las municipalidades provinciales y distritales de los diferentes departamentos del Perú, donde para verificar y aprobar

este tipo de edificaciones las clasifican en tres modalidades: modalidad A, donde posee hasta 120 m<sup>2</sup> de área construida; modalidad B, donde es hasta 5 pisos y/o 3000 m<sup>2</sup> de área y por último, la modalidad C edificaciones mayores a 5 pisos y más de 3000 m<sup>2</sup> de área construida (Vivienda, 2006). Donde la modalidad A y B son evaluadas por los especialistas de las entidades antes mencionadas, mientras que la modalidad C por comités de los colegios profesionales (Manual de Procedimientos MAPRO, 2012).

Siendo generalmente el encargado de evaluar el diseño de edificaciones en la especialidad de estructuras un profesional no especializado o afín, los cuales no tomarían en cuenta consideraciones sísmicas (Halder y Paul, 2016a). Estas consideraciones son importantes, debido a la gran presencia de sismos en el Perú, principalmente en los departamentos cercanos a la costa y regiones del sur del territorio peruano donde se registraron sismos con mayor escala (Tavera, 2008).

En Puno a pesar que el sismo no es un fenómeno recurrente se debe emplear las consideraciones del DSR (Gobierno Regional de Puno (GRP), 2019), debido a que la presencia de sismos aun con baja escala puede ocasionar destrucción y daños a la propiedad (Espada *et al.*, 2021; Rubell, 2002). Es por ello que las autoridades de la región Puno se encuentran preocupadas por el comportamiento de las edificaciones frente a una acción sísmica, ya que el 90% de las viviendas colapsarían (Fernandez, 2019), debido a que muchas las edificaciones son antiguas, y también las nuevas no fueron diseñadas con características sismorresistentes (Aroquipa y Hurtado, 2022a). Esta situación se agrava por la falta de evaluación rigurosa de los proyectos por parte de los proyectistas, quienes en muchos casos no aplican adecuadamente las normativas sismorresistentes. Además, se ha identificado que muchas edificaciones presentan defectos estructurales primigenios, tales como el uso inadecuado de materiales y deficiencias en la calidad de la construcción, lo que compromete su estabilidad frente a eventos sísmicos (Castro, 2023; Coronado y Gomez, 2022). Esto podría provocar un evento catastrófico como en lo ocurrido en el sismo de 1928 donde colapsaron viviendas en varios poblados de Puno y genero 5100 en pérdidas humanas (Kuroiwa, 2016),

siendo el departamento con mayor cantidad de víctimas registradas hasta el momento en el Perú.

Por otra parte, según (Terán, 2007) menciona que el daño o degradación que puede sufrir una edificación a través de sus elementos estructurales y no estructurales depende de los desplazamientos laterales, la cual viene siendo la deformación plástica, y Además es un requisito de control de la normativa de DSR. Estos desplazamientos se controlan en los niveles de entre piso en relación a su altura y poseen valores específicos según el tipo de material (RNE, 2018a).

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Interrogante principal**

¿Cuál es el desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada con diversos tipos de suelos en el 2022, Puno?

### **1.2.2. Interrogantes secundarias**

- a) ¿Cómo se clasifica estructuralmente a las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022 según los diferentes tipos de suelo en Puno?
- b) ¿En qué medida cumplen las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022 con las distorsiones admisibles de entrepiso según la norma peruana de diseño sismorresistente?
- c) ¿Cómo afecta el tipo de suelo al desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022 en Puno?

## **1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación propuesta se justifica por:

**Desde el punto de vista de Riesgo sísmico**, la ciudad de Puno se encuentra en una zona sísmicamente activa, y el riesgo de terremotos es una amenaza latente. La investigación es necesaria para comprender mejor cómo las edificaciones multifamiliares, que a menudo albergan a un gran número de personas, pueden

resistir y sobrevivir a eventos sísmicos. Además, se evaluará el impacto de las características del suelo en el comportamiento sísmico de estas edificaciones, lo cual es crucial para desarrollar estrategias de mitigación más efectivas.

**Desde el punto de vista social,** La seguridad de los residentes es una preocupación primordial. Un estudio que evalúe el desempeño sísmico de las edificaciones ayudará a identificar posibles vulnerabilidades y áreas de mejora en la construcción y el diseño de edificaciones multifamiliares. La transferencia de esta información a la comunidad y a los profesionales de la construcción en Puno contribuirá a una mayor concienciación y preparación ante desastres naturales, promoviendo prácticas de construcción más seguras.

**Desde el punto de vista normativo,** Esta investigación aportará información valiosa sobre los resultados del análisis sísmico del modelamiento de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en la ciudad de Puno, verificando el cumplimiento de los desplazamientos límites de entre piso como requisito para un diseño sismorresistente. Además, ayudará a establecer acciones correctivas para mejorar su evaluación antes de aprobar su licencia de construcción y a identificar los sectores con mayor riesgo. Esto es fundamental para garantizar que los proyectos presentados y aprobados en la Municipalidad de Puno cumplan con las normativas sismorresistentes y se adopten mejoras continuas basadas en los hallazgos de esta investigación.

**Impacto y transferencia de información,** La importancia de esta investigación radica también en su capacidad de influir en futuros proyectos de construcción en Puno. Los resultados y recomendaciones derivados del estudio se transferirán a las autoridades municipales y a los profesionales involucrados en la construcción, asegurando que las nuevas edificaciones consideren las mejores prácticas en diseño sismorresistente. Esta transferencia de conocimiento contribuirá a un desarrollo urbano más seguro y resiliente frente a eventos sísmicos, beneficiando a la comunidad en general.

Deduciendo, el tema será de gran aporte, debido que actualmente existen varias edificaciones con las particularidades mencionadas, se debe realizar un análisis de su comportamiento estructural y comprender y mejorar la seguridad sísmica de las edificaciones en Puno.

#### **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar el desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada con diversos tipos de suelos en el 2022, Puno.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a) Clasificar estructuralmente las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022 según los diferentes tipos de suelos en Puno
- b) Evaluar el cumplimiento de las distorsiones admisibles de entrepiso de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022, según la norma peruana de diseño sismorresistente, en Puno.
- c) Evaluar el impacto del tipo de suelo en el desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022 en Puno.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Duarte *et al.* (2017) analizaron el comportamiento del Cuerpo Central del Edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador utilizando el método Pushover. El propósito fue evaluar la respuesta de esta parte del edificio frente a movimientos sísmicos. Los resultados indicaron que el punto de desempeño fue de 2523.41 toneladas y un desplazamiento de 15.89 cm, lo cual se mantuvo dentro de los límites de daño (20.59 cm) y seguridad (32.75 cm) de la estructura. Se concluyó que la estructura cumplía con los estándares de funcionalidad y seguridad establecidos, manteniendo las deformaciones dentro de los límites permitidos para la seguridad de los ocupantes (48.64 cm). Este análisis mediante el método Pushover permitió comprender mejor la respuesta del edificio a los sismos.

Ugalde *et al.* (2019) llevaron a cabo un estudio en la Universidad Austral de Chile, Valdivia, centrado en analizar el comportamiento sísmico no lineal de un edificio de 17 pisos y 2 sótanos, construido con muros de hormigón armado como su sistema estructural principal. Su evaluación reveló valores de sobrerresistencia entre 5.5 y 4.2, señalando la correcta funcionalidad del edificio. Destacaron que la

rigidez al cortante desempeña un papel crucial en la absorción de las fuerzas sísmicas, siendo esta característica fundamental en el modelo de análisis utilizado. También concluyeron que, para edificios de gran altura, el empleo de muros de corte resulta conveniente, ya que absorben una parte significativa de estas fuerzas.

En resumen, Ugalde evidencia la necesidad del método Pushover para evaluar la estructura de la edificación, mostrando que esta cuenta con una capacidad superior para resistir fuerzas sísmicas.

Vertel (2021), en un estudio llevado a cabo en la Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena de Indias, se enfocaron en la evaluación del comportamiento sísmico no lineal de edificios con pórticos de concreto reforzado, cuyas columnas superan el límite de resistencia ante cargas verticales. El objetivo fue crear conciencia entre los diseñadores actuales sobre la metodología de diseño por desempeño. Analizaron tres edificaciones con deficiencias estructurales y propusieron el refuerzo como solución. Tras realizar un análisis no lineal post-reforzamiento, observaron mejoras significativas en las derivas laterales, en un rango del 60%, 15% y 59%, respectivamente.

La investigación concluyó que el análisis no lineal en el rango no elástico proporciona resultados más precisos. Estos resultados permiten proponer soluciones estructurales para edificaciones existentes que no cumplen con los requisitos mínimos de desempeño. Además, para edificaciones nuevas, esta metodología de análisis ayuda a diseñar estructuras más seguras para los usos específicos requeridos, mejorando la seguridad de los edificios.

En Arabia Saudita los investigadores Ainul *et al.* (2014), en su artículo realizaron una investigación con el fin de evaluar el comportamiento o desempeño sísmico de algunos edificios de concreto armado los cuales fueron diseñados solo con consideraciones gravitacionales debido a que el país no pertenece a una zona sísmica. Utilizaron el ATC-40 y evaluaron los modelos diseñados y aprobados bajos las normas de ese país.

Donde determinaron que las edificaciones presentan una capacidad estructural deficiente y que no satisfacen los requisitos mínimos de desempeño según la norma ATC-40.

En el ámbito nacional, los ingenieros Bartolomé y Quiun (2010) llevaron a cabo una investigación denominada “Diseño sísmico de edificaciones de albañilería confinada”. El propósito de este estudio fue analizar el desempeño sísmico mediante dos enfoques de diseño: uno para sismos moderados (comportamiento elástico de los muros) y otro para sismos severos (posible falla por corte en los muros, pero reparables). La investigación combinó métodos teóricos y experimentales. En la fase experimental, se realizaron ensayos de carga lateral cíclica en muros a tamaño real. Los resultados indicaron que la calidad de los ladrillos tiene una gran influencia en la resistencia a la fuerza cortante y en la rigidez lateral de los muros portantes. Además, se determinó que los confinamientos alrededor de los muros portantes, tanto columnas como vigas, deben ser preferiblemente peraltados para mejorar la rigidez lateral y la fuerza cortante. En resumen, los procedimientos teóricos fueron validados mediante experimentos estáticos y dinámicos a tamaño real, aplicando los criterios de desempeño de la estructura frente a sismos moderados y severos.

La tesis de Delgadillo (2005) El estudio se enfoca en el Análisis No Lineal Estático de estructuras y su aplicación conforme a la Norma Peruana de Diseño Sísmico E-030. El principal objetivo es evaluar el nivel de daño en los elementos de una estructura mediante el monitoreo de deformaciones (giros o desplazamientos) en su nivel de desempeño. Posteriormente, se verifica que estos resultados cumplan con los límites de aceptación locales establecidos por FEMA 356 y ATC-40. Se resalta que el Análisis No Lineal Estático Pushover es una herramienta esencial para identificar las zonas "débiles" de una estructura y tomar las medidas correctivas necesarias. Para ilustrar este proceso, se utilizó un edificio de cinco pisos con irregularidades en planta, destinado a departamentos. La conclusión es que el análisis Pushover requiere un diseño estructural previo, ya que facilita la evaluación del daño a través del monitoreo de las deformaciones de

desempeño, permitiendo clasificar los daños como aceptables o no, según los límites de aceptación establecidos.

La tesis de Fuentes (2018), tuvo como objetivo evaluar el desempeño sísmico de un edificio de cinco niveles de concreto armado mediante el análisis estático no lineal Pushover. La población estudiada fue un edificio multifamiliar de cinco niveles ubicado en Huaraz. La metodología empleada incluyó el análisis estático no lineal Pushover, siguiendo las normas E-030 y FEMA 356, realizando ensayos para determinar la capacidad de desplazamiento y resistencia del edificio. Los principales resultados demostraron que la estructura cumple con los objetivos de la Norma Peruana Sismorresistente E-030, con desplazamientos y deformaciones dentro de los límites aceptables, asegurando que el edificio puede soportar fuerzas sísmicas sin riesgo de colapso. Se concluyó que los desplazamientos controlados son cruciales para prevenir el colapso y se recomendó el análisis Pushover como una herramienta esencial para la evaluación del desempeño sísmico de edificaciones en zonas sísmicas.

Chancafe y Gonzales (2021), en su tesis el objetivo del estudio fue evaluar el desempeño sísmico de un edificio multifamiliar de ocho pisos en Santiago de Surco, Lima, utilizando el análisis Pushover. La población estudiada fue un edificio multifamiliar de ocho pisos. La metodología consistió en la aplicación del análisis estático no lineal Pushover para determinar la resistencia y las derivas laterales del edificio, siguiendo los criterios de la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E-030. Los principales resultados indicaron que el desempeño sísmico del edificio es óptimo, cumpliendo con los valores de derivas máximas estipulados en la norma, demostrando funcionalidad y seguridad adecuadas ante eventos sísmicos. Se concluyó que el análisis Pushover es eficaz para evaluar el desempeño sísmico de edificaciones multifamiliares y se destacó la importancia de seguir los criterios normativos para asegurar la resistencia sísmica.

Fuentes (2023) en su tesis su objetivo del estudio fue evaluar el desempeño sísmico del conjunto habitacional Las Casuarinas en Chiclayo y proponer un

posible reforzamiento estructural basado en el análisis no lineal estático Pushover. La población estudiada fue el conjunto habitacional Las Casuarinas en Chiclayo, compuesto por varios módulos de edificaciones. La metodología incluyó un análisis no lineal estático Pushover de la estructura y la propuesta de un reforzamiento estructural mediante muros de albañilería anclados a los encamisados de columna, con evaluación de planos y ensayos in situ para conocer las características del concreto y del suelo. Los principales resultados determinaron que la estructura actual es colapsable ante eventos sísmicos, por lo que se propuso un reforzamiento preventivo con un costo estimado de S/.147,438.09 para todo el conjunto habitacional. La conclusión destacó la necesidad de medidas de reforzamiento estructural en edificaciones antiguas para asegurar su resistencia sísmica, proponiendo una metodología sencilla y óptima para mejorar la seguridad estructural del conjunto habitacional.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Autorizaciones de construcción**

Las licencias de construcción son servicios exclusivos según la Ley 27444 (Ejecutivo, 2016), y la Ley 29090 (Ministerio de Vivienda, 2017) establece que son actos administrativos mediante los cuales los municipios otorgan autorización para la ejecución de obras de urbanización o edificación. Estas licencias pueden ser prorrogadas, modificadas o renunciadas, tanto de manera expresa como por solicitud del interesado.

Por otro lado, el nuevo Reglamento Nacional de Edificaciones (D.S. N° 011-2006-Vivienda, 2006), en su Norma G.030 de Derechos y Responsabilidades, señala que los municipios tienen la responsabilidad de agilizar y simplificar los trámites administrativos relacionados con la autorización y consulta de edificaciones y urbanizaciones. Asimismo, deben contar con personal capacitado para realizar estas funciones, pudiendo tercerizar o delegar estas responsabilidades. Además, tienen la facultad de otorgar los permisos para la construcción de obras de

edificación y urbanización, basándose en la evaluación realizada por comisiones calificadoras de proyectos o entidades designadas para tal fin.

Según Veliz y Obregón (2019), las Licencias de Edificación son los permisos que las autoridades locales otorgan a los ciudadanos para llevar a cabo construcciones en lugares de forma permanente, dentro del marco de los procedimientos administrativos. Para obtener esta licencia, el terreno debe cumplir con la aprobación previa de un proyecto de habilitación urbana, así como con la conformidad de la obra y la declaración de edificación. La validez de la Licencia de Edificación es de 36 meses, con la opción de extenderse por 12 meses adicionales mediante una solicitud presentada 30 días antes de su vencimiento, y la emisión se realiza en un plazo de 3 días hábiles después de la presentación de dicha solicitud.

### **2.2.2. Modalidades de aprobación**

La Presidencia del consejo de ministros (PCM) (2019) establece cuatro modalidades de aprobación para proyectos de construcción:

Modalidad A (Aprobación Automática con Firma de Profesionales): Esta modalidad incluye la construcción de viviendas unifamiliares de hasta 120 m<sup>2</sup> en un solo predio, la ampliación de viviendas unifamiliares con licencia de edificación y área menor a 200 m<sup>2</sup>, remodelaciones que no afecten las estructuras ni aumenten el área techada, construcción de cercos que no formen parte de unidades inmobiliarias, demolición de viviendas multifamiliares de hasta 3 pisos sin sótanos, remodelaciones consideradas como obras menores, obras militares o policiales, y proyectos de inversión pública.

Modalidad B (Aprobación de Proyecto con Evaluación Municipal o Evaluación Previa de Revisores Urbanos): Incluye modificaciones a proyectos de edificación aprobados previamente, construcción de viviendas unifamiliares o multifamiliares de hasta 5 pisos y 3000 m<sup>2</sup> de área techada, remodelaciones con modificaciones estructurales, construcción de cercos en unidades inmobiliarias, demolición de edificaciones de hasta 5 pisos con sótanos sin explosivos, y proyectos que requieran excavaciones profundas.

Modalidad C (Aprobación de Proyecto previa Evaluación de la Comisión Técnica o Revisores Urbanos): Aplica a construcciones de viviendas multifamiliares de más de 5 pisos y 3000 m<sup>2</sup> de área techada, edificaciones de uso mixto, intervenciones en zonas declaradas como patrimonio cultural, locales comerciales, centros de esparcimiento, mercados y locales deportivos.

Modalidad D (Aprobación de Proyecto previa Evaluación de la Comisión Técnica o Revisores Urbanos): Incluye edificaciones industriales, locales comerciales y centros de esparcimiento de más de 30,000 m<sup>2</sup> de área techada, mercados con más de 15,000 m<sup>2</sup> de área techada y locales deportivos para más de 20,000 asistentes.

### **2.2.3. Importancia de los estudios de mecánica de suelos**

El estudio geotécnico, una rama de la ingeniería civil, es esencial para recabar información sobre el terreno donde se planea construir. Este proceso resulta crucial para la planificación, diseño y ejecución de proyectos de construcción, como el caso específico de un edificio de cinco niveles.

Según la Revista ECURED, se integran análisis y estudios de suelos en la formación de un ingeniero civil. Estos expertos se dedican a estudiar las propiedades y características del suelo, así como su capacidad de carga mediante diversos ensayos, para clasificarlo según su perfil. Antes de iniciar la construcción, es fundamental conocer el tipo de suelo para establecer parámetros adecuados y realizar un análisis estructural que considere el enfoque más eficiente y económico para el proyecto.

Aguilar, García y Zarazúa señalan que los estudios de mecánica de suelos son específicos de cada zona investigada y no se pueden extrapolar a otras regiones. Dado que los tipos de suelo y sus propiedades mecánicas varían incluso en áreas pequeñas, aplicar recomendaciones de un estudio a una zona diferente puede conducir a errores en el diseño estructural y, por ende, a modificaciones desfavorables en el costo del proyecto.

#### 2.2.4. Tipos de suelos

Desde la perspectiva de la ingeniería civil, el suelo constituye la capa superficial de la tierra donde se desarrollan diversas obras civiles. Está compuesto por una variedad de rocas de diferentes tamaños y estratos. Su importancia radica en su influencia crucial en el diseño y la construcción de edificaciones, lo que justifica la realización de estudios para determinar sus propiedades físicas, químicas y, especialmente, mecánicas. Existen varios tipos de suelos, cada uno con características únicas: El suelo gravoso está formado por partículas descompuestas de rocas con un diámetro superior a dos milímetros, típicamente encontrado en los lechos de los ríos. El suelo arenoso consiste en arena de grano grueso y medio, capaz de soportar estructuras con una resistencia adecuada. Además, muestra resistencia y adaptabilidad a los cambios de temperatura y humedad. El suelo arcilloso se caracteriza por partículas sólidas de tamaño menor a 0.005 mm, con la capacidad de adquirir una consistencia plástica al mezclarse con agua. El suelo limoso está compuesto por partículas con un diámetro entre 0.05 mm y 0.005 mm, considerado de calidad inferior para la construcción.

#### 2.2.5. Perfiles de suelo

Las clasificaciones del tipo de suelo proporcionan una comprensión detallada de las características geotécnicas y sísmicas del terreno, influyendo así en el diseño y la construcción de estructuras. Estas clasificaciones incluyen:

- a) Tipo S0: Roca Dura, que consiste en rocas sanas con una velocidad de propagación de ondas de corte ( $V_s$ ) mayor que 1500 m/s, lo que indica una alta rigidez y resistencia.
- b) Tipo S1: Roca o Suelo Muy Rígido, que engloba rocas con diferentes grados de fracturación y suelos muy rígidos, con una velocidad de propagación de ondas de corte ( $V_s$ ) entre 500 m/s y 1500 m/s, lo que los hace moderadamente rígidos.

- c) Tipo S2: Suelos Intermedios, que se caracterizan por una velocidad de propagación de ondas de corte ( $V_s$ ) entre 180 m/s y 500 m/s, representando suelos medianamente rígidos.
- d) Tipo S3: Suelos Blandos, que comprenden suelos flexibles con una velocidad de propagación de ondas de corte ( $V_s$ ) menor o igual a 180 m/s, lo que indica baja rigidez y resistencia.
- e) Tipo S4: Condiciones Excepcionales, que abarcan suelos excepcionalmente débiles o flexibles, así como áreas con condiciones geológicas y topográficas desfavorables.
- f) Estas clasificaciones se aplican a los primeros 30 metros del perfil del suelo, medidos desde el fondo del nivel de cimentación.

#### **2.2.6. Comportamiento sísmico**

El comportamiento sísmico se refiere a la manera en que los materiales, las estructuras y el entorno responden a las fuerzas generadas por la actividad sísmica. Se trata de cómo estos elementos se comportan y reaccionan frente a las ondas y movimientos sísmicos, ya sea absorbiendo, resistiendo o siendo afectados por estas fuerzas (Briceño Meléndez, 2016). Este concepto implica el estudio de la interacción entre la actividad sísmica y los objetos o estructuras presentes en esa área, analizando cómo se ven afectados y cómo se comportan en respuesta a estas fuerzas.

#### **2.2.7. Análisis estructural**

De acuerdo a Villarreal (2009), el Análisis Estructural se define como una disciplina dedicada a la formulación de técnicas de cálculo que permiten evaluar la solidez, firmeza, estabilidad, durabilidad y confiabilidad de las construcciones. Esto con el propósito de obtener los parámetros esenciales para concebir un diseño que sea eficiente y seguro desde el punto de vista económico.

### 2.2.8. Control de derivas

El término "deriva" hace referencia al desplazamiento lateral relativo entre pisos adyacentes provocado por una fuerza horizontal. Para calcular esta deriva, se utiliza el valor máximo de desplazamiento inelástico generado por el sismo de diseño. La magnitud de estos desplazamientos está principalmente determinada por la rigidez lateral, el comportamiento inelástico y la demanda sísmica de la estructura. La deriva es un parámetro definido en la normativa sísmica E.030, que se utiliza para evaluar si una edificación tiene la capacidad de resistir fuerzas sísmicas (Silva y Apaza, 2020). Su valor depende de diversos factores, como el tipo de edificación, los materiales utilizados y los detalles específicos de los elementos estructurales. Por lo tanto, es crucial cumplir con los límites máximos de distorsión entre pisos, que en la mayoría de las estructuras de concreto se establece en 0.007 según la normativa E.030.

#### Figura 1

*Derivas de cada material*

<b>Material Predominante</b>	<b><math>(\Delta_i / h_{ei})</math></b>
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Nota: E030- Norma de diseño sismorresistente.

### 2.2.9. Pórticos estructurales

Se trata de un sistema en el que los componentes estructurales fundamentales son las vigas y las columnas, que unidas crean pórticos capaces de resistir cargas. Este sistema se distingue por su naturaleza hiperestática. Sus beneficios son:

- Proporciona una eficiente distribución de los espacios internos del edificio.
- Estructura flexible.
- Disipador de energía sísmica debido a su propiedad de ductilidad. Sus desventajas son:
  - Baja resistencia y rigidez lateral.
  - Su flexibilidad permite desplazamientos excesivos que produce daños en los elementos no estructurales.
  - Su empleo está limitado a edificaciones de mediana altura.

#### **2.2.10. Tipos de fallas**

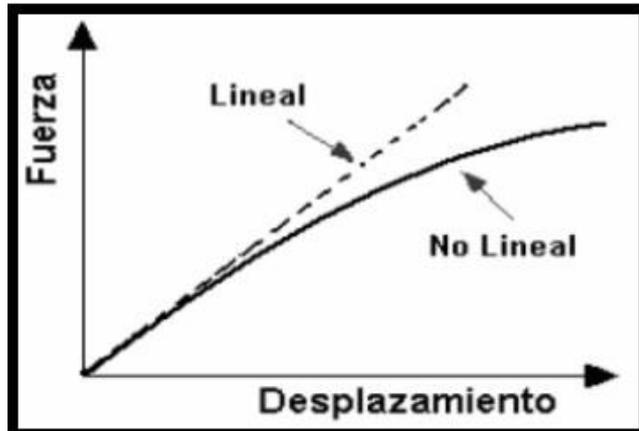
Es importante tener en cuenta que las construcciones deben poseer una capacidad de deformación adecuada para resistir las fuerzas sísmicas de manera efectiva, sin comprometer su resistencia. En relación a los tipos de fallos, se describirán los más significativos y frecuentes que pueden surgir en las estructuras debido a un sismo de moderado a severo (Silva y Apaza, 2020). Al analizar cada tipo de fallo, será posible llegar a conclusiones sobre cómo prevenir cada uno de ellos.

#### **2.2.11. Consideraciones generales del Análisis no lineal**

En el análisis lineal, se supone que existe una relación directa entre las cargas aplicadas y los desplazamientos resultantes, lo que implica que se cumple el principio de superposición. Esto significa que, si duplicamos la magnitud de la carga, obtendremos el doble de la respuesta del modelo en términos de desplazamientos y fuerzas internas. Sin embargo, en la práctica, la mayoría de las estructuras reales muestran un comportamiento no lineal una vez que se alcanza un cierto nivel de carga. Aunque en muchos casos un análisis lineal puede ser suficiente y apropiado, en otros casos puede arrojar resultados inexactos, por lo que puede ser necesario realizar un análisis no lineal (Jaramillo y Riveros, 2011).

**Figura 2**

*Respuesta de Análisis lineal y no lineal*



Nota: (Jaramillo y Riveros, 2011)

#### **2.2.11.1. Análisis estático no lineal**

Es una metodología que incorpora la no linealidad de los materiales. Para realizar este tipo de análisis, se utilizan diversas técnicas, como ATC-40 y FEMA-356, entre otras. Todas estas técnicas tienen en común que representan las características no lineales (fuerza-deformación) de la estructura mediante una curva de capacidad Pushover (Croce *et al.* 2018a).

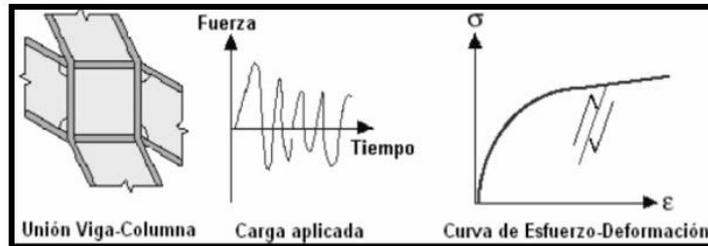
#### **2.2.11.2. Análisis no lineal geométrico**

La importancia de la no linealidad en el análisis reside en el impacto que los desplazamientos tienen en la configuración geométrica de la estructura. En un análisis lineal, los desplazamientos son relativamente pequeños, por lo que se suelen ignorar los cambios en la rigidez de la estructura debido a las cargas. Sin embargo, en estructuras o componentes mecánicos con grandes desplazamientos, es posible que experimenten cambios significativos en su geometría. Esto se debe a que las cargas inducidas por la deformación pueden provocar una respuesta no lineal de la estructura, manifestándose como endurecimiento o ablandamiento (Jaramillo y Riveros, 2011).

### **2.2.11.3. Análisis no lineal mecánico o del material**

Un aspecto importante resaltado por la no-linealidad está relacionado con la relación no lineal entre el esfuerzo y la deformación. Esto sucede cuando el material no sigue la Ley de Hooke, es decir, cuando los esfuerzos no son directamente proporcionales a las deformaciones. No todos los materiales muestran un comportamiento lineal; esto solo ocurre en el caso de deformaciones muy pequeñas. Otros materiales, en cambio, exhiben comportamientos completamente diferentes. Se reconoce que existen varios factores que contribuyen al comportamiento no lineal del material, como la dependencia de la curva de esfuerzo-deformación del material, la duración de la carga (análisis de fluencia-creep) o la temperatura (problemas termoplásticos) (Jaramillo y Riveros, 2011).

La no-linealidad en términos mecánicos se origina a partir de las diversas leyes constitutivas de los materiales o elementos estructurales, es decir, de su comportamiento inherente ante tensiones y deformaciones. El concreto, por ejemplo, es un material que posee una naturaleza heterogénea. Su respuesta de deformaciones dependerá de factores como las propiedades de los áridos y cementos, el tipo de cargas aplicadas, la edad del concreto, el grado de confinamiento y las condiciones ambientales. No existe un modelo físico universalmente aceptado que pueda cuantificar la influencia de todos estos factores, lo que significa que dicho comportamiento debe ser inferido a través de ensayos de laboratorio.

**Figura 3***Comportamiento dinámico de vigas y columnas*

Nota: (Jaramillo y Riveros, 2011).

### 2.2.12. Desempeño sísmico de una estructura

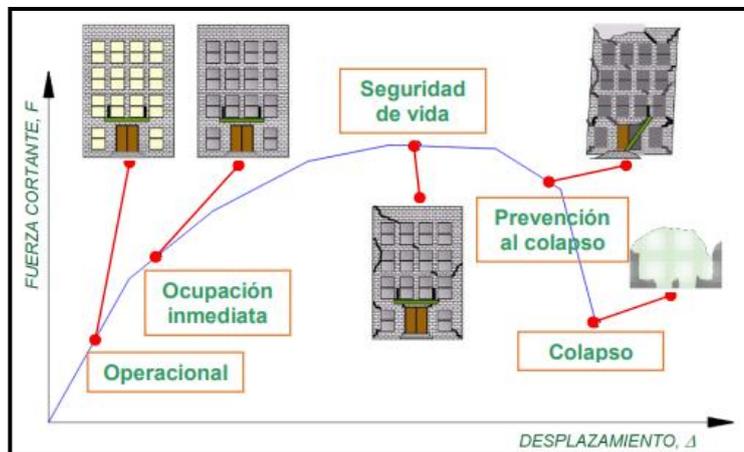
El nivel de desempeño según Peñaloza, (2021), es el grado máximo de respuesta que se pretende lograr cuando una edificación es expuesta a un determinado nivel de sismo. Esta respuesta se caracteriza mediante una descripción de los daños máximos permitidos, los cuales varían dependiendo del tipo o importancia de la edificación.

Las características de esta respuesta abarcan tanto los daños de naturaleza estructural como los no estructurales de la edificación. Estos pueden ser referidos de manera independiente como "desempeño estructural" y "desempeño no-estructural". La medida del daño aceptable se determina a través de los "niveles de desempeño" o "estados límite".

Los niveles de desempeño según la propuesta del Comité VISION 2000, está definido en cuatro:

**Figura 4**

*Niveles de desempeño o estados límites en edificaciones*



Nota: FEMA-389.

### 2.2.12.1. Totalmente operacional

Se espera que una edificación con un "objetivo básico" alcance este estado cuando se vea expuesta a un sismo frecuente de baja intensidad. De manera similar, una edificación con "objetivo esencial" alcanzaría este estado en caso de un sismo ocasional de intensidad media. En cambio, una edificación con "objetivo de seguridad crítica" llegaría a este estado en un sismo raro de gran intensidad.

Es importante tener en cuenta que es difícil de concebir que una estructura permanezca en este estado límite cuando se enfrenta a un sismo de intensidad extrema. Esto, por supuesto, dependerá de cómo se defina "sismo muy raro" para cada región.

Las características posteriores a un evento que se observan en edificaciones que cumplen con este límite son las siguientes: es probable que aparezcan fisuras en el concreto como resultado de la fluencia del acero longitudinal en algunos elementos. Sin embargo, esto no debería requerir ninguna intervención de reparación

### **2.2.12.2. Operacional u ocupación inmediata**

Ningún tipo de edificación debería experimentar el nivel de daño asociado a este estado límite durante un sismo frecuente. Se espera que este nivel de desempeño sea alcanzado por una edificación de "objetivo básico" bajo la acción de un sismo ocasional, o por una edificación de "objetivo esencial" bajo la acción de un sismo raro, o por una edificación de "objetivo de seguridad crítica" bajo la acción de un sismo muy raro. Este estado límite es el que se espera que presenten la mayoría de las edificaciones esenciales.

En este estado límite, la edificación exhibe comportamiento no lineal. Hay fluencia en el acero de tensión y el concreto se fisura, pudiendo ocurrir desprendimiento del revestimiento en algunos elementos dúctiles. La mayoría de las fisuras no requiere reparación, y en caso de ser necesario, pueden abordarse con procedimientos de inyección de grout líquido. Es posible que sufran daños algunas instalaciones que carezcan de juntas flexibles o componentes que no estén adecuadamente fijados a partes más resistentes, aunque esto no debería ocurrir. Todas las reparaciones menores pueden llevarse a cabo sin necesidad de interrumpir la funcionalidad del edificio.

### **2.2.12.3. Seguridad de vida**

Ningún tipo de edificación debería experimentar el nivel de daño correspondiente a este estado límite durante un sismo frecuente o un sismo ocasional. Se espera que este nivel de desempeño sea alcanzado por una edificación de "objetivo básico" cuando se vea expuesta a la acción de un sismo raro, o por una edificación de "objetivo esencial" bajo la acción de un sismo muy raro.

Las características posteriores al evento en las edificaciones que cumplen con este límite son las siguientes: En este estado, la edificación sufre mayores daños, tanto a nivel estructural como no estructural. Las articulaciones plásticas son más evidentes, hay un mayor desprendimiento del recubrimiento y las grietas son más notables. A pesar de estos daños, aún es posible, desde un punto de vista económico, reparar los elementos de concreto, tanto estructurales como no

estructurales, en lugar de reemplazarlos. Es probable que muchos contenidos sufran daños, pero, sobre todo, ninguno de estos daños debería representar un peligro suficiente como para causar pérdida de vidas humanas, tanto dentro como fuera de la edificación. Sin embargo, pueden surgir riesgos secundarios como incendios o derrames de sustancias.

#### **2.2.12.4. Prevención al colapso**

Ningún tipo de edificación debería experimentar el nivel de daño correspondiente a este estado límite durante un sismo frecuente, ocasional o raro. Se espera que este nivel de desempeño sea alcanzado por una edificación de "objetivo básico" cuando se vea expuesta a la acción de un sismo muy raro.

Las características posteriores al evento en las edificaciones que cumplen con este límite son las siguientes: En este estado límite, los daños son mucho más severos tanto en el sistema estructural como en el no estructural de la edificación. El desprendimiento de componentes puede resultar en lesiones más graves para los ocupantes, y es probable que la reparación de la edificación ya no sea económicamente viable. Por tanto, el diseñador debe proporcionar resistencia adicional suficiente para soportar las cargas verticales y evitar el colapso parcial o total del edificio. Es altamente probable que después del evento, la edificación experimente deformaciones residuales de gran magnitud.

Cuando se contempla la aceptación de cierto nivel de daño en el diseño de una edificación, es esencial asegurarse de que estos daños sean económicamente recuperables. Esto significa que los costos deben ser manejables de manera que no sea necesario reemplazar la edificación completa o una gran parte de ella después de un evento sísmico. Para lograrlo, el diseño debe garantizar un "control de daños" tanto en aspectos estructurales como no estructurales. Este control será definido por el diseñador e implica proporcionar, por ejemplo, un mecanismo de falla del sistema adecuado o demandas de ductilidad necesarias. También es crucial evitar desplazamientos residuales excesivos después del evento. La finalidad de este

control es evitar la demolición de las edificaciones, incluso si han cumplido con la función de proteger vidas humanas en el evento de un sismo de nivel raro.

La categorización del peligro sísmico, según la propuesta del Comité VISION 2000, son cuatro:

- Sismo frecuente
- Sismo ocasional
- Sismo raro
- Sismo muy raro

**Figura 5**

*Matriz de los objetivos de desempeño*

Niveles de Sismo	Niveles de Desempeño			
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad de Vida	Prevención al Colapso
Frecuente 50%/30años (43 años)	●	x	x	<b>Desempeño Inaceptable (para nuevas edificaciones)</b>
Ocasional 50%/50años (72 años)	●	●	x	
Raro 10%/50años (475 años)	●	●	●	
Muy Raro 10%/100años (950 años)	●	●	●	

*Objetivo de Seguridad Crítica* (línea diagonal desde el punto de Frecuente/Operacional hasta Muy Raro/Operacional)

*Objetivo Esencial* (línea diagonal desde el punto de Ocasional/Operacional hasta Muy Raro/Seguridad de Vida)

*Objetivo Básico* (línea diagonal desde el punto de Ocasional/Operacional hasta Muy Raro/Prevención al Colapso)

Nota: Visión 2000, SEAOC.

La identificación del sismo viene dada por la representación histórica de los sismos en una zona en particular.

El objetivo básico tendría que ser aplicado para las edificaciones de uso común o categoría “C”, establecidas por la E030 de diseño sismorresistente.

El objetivo esencial es adecuado para edificaciones que albergan una gran cantidad de personas, como estadios, museos, teatros, etc. Esto equivale a la

categoría B de "edificaciones importantes" según la normativa técnica peruana E.030 de diseño sismorresistente.

El objetivo de seguridad crítica se aplica a edificaciones que no pueden interrumpirse después de un sismo, como hospitales, estaciones de bomberos, comisarías de policía, refugios, entre otros. También incluye edificaciones cuyo daño podría resultar en riesgos de explosiones o contaminación ambiental y radiactiva. Este objetivo corresponde a la categoría A de "edificaciones esenciales" según la normativa técnica peruana E.030 de diseño sismorresistente.

### **2.2.13. Estimación del punto de desempeño**

El concepto de punto de desempeño se refiere a la predicción del desplazamiento máximo anticipado del techo de una edificación durante un evento sísmico previsto. Esta medida facilita la evaluación del grado de daño sufrido por el edificio, lo que posibilita su comparación con los estándares de desempeño deseados. Asimismo, ayuda a detectar deficiencias en diferentes áreas de la estructura, lo que permite la implementación de medidas correctivas según sea necesario (Peñaloza, 2021).

La curva o espectro de Capacidad, es conocido por realizar una aproximación lineal del espectro de capacidad. En este método, se estima el desplazamiento máximo de un sistema no lineal de 1 grado de libertad a través del desplazamiento máximo de un sistema lineal de 1 grado de libertad. Esto se debe a que el sistema lineal posee valores de períodos y amortiguamientos superiores a los valores iniciales del sistema no lineal de 1 grado de libertad.

El Sistema Equivalente, que corresponde al sistema elástico de 1 grado de libertad, se utiliza para calcular el desplazamiento inelástico máximo del sistema estructural no lineal. Aquí, los valores del amortiguamiento y período del sistema elástico se denominan amortiguamiento y períodos equivalentes, respectivamente.

Para aplicar el Método del Espectro de Capacidad, primero se genera la curva de capacidad de la estructura obtenida en el Análisis Pushover. Luego, esta

curva y la demanda sísmica se transforman a un formato ADRS, donde el período se representa como una línea radial que parte desde el origen.

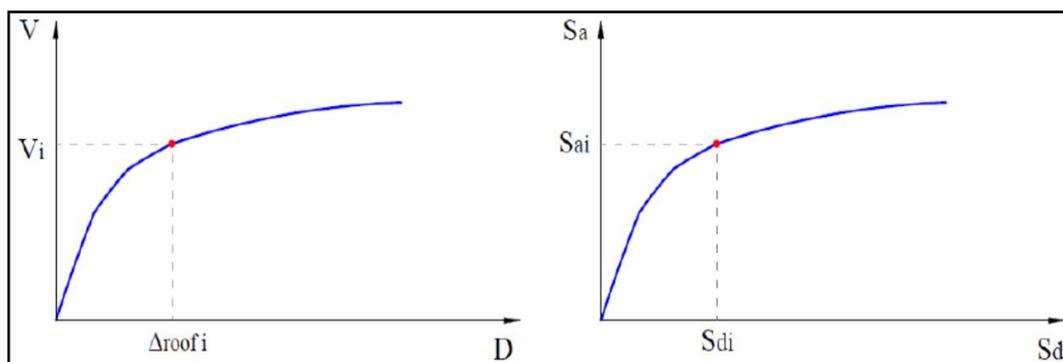
El método emplea simplificaciones para determinar el amortiguamiento y período equivalentes. El amortiguamiento equivalente se calcula proporcionalmente al área bajo el espectro de capacidad, mientras que el período equivalente se determina como el período secante de la intersección entre la demanda sísmica reducida por el amortiguamiento equivalente y el espectro de capacidad. La determinación del desplazamiento inelástico máximo (punto de desempeño) es iterativa, ya que el período y el amortiguamiento equivalentes dependen del desplazamiento (Chumpitaz, 2021).

### 2.2.13.1. Procedimiento según el ATC - 40

El Applied Technology Council (ATC), 1996) describe tres procedimientos para llevar a cabo la interacción, denominados procedimientos a, b y c. Aunque todos se fundamentan en los mismos conceptos y relaciones matemáticas, difieren en el grado de dependencia de las técnicas analíticas y gráficas.

#### Figura 6

*Conversión de la curva de capacidad a formato ADRS*



Nota: ATC-40, (1996).

- Transformación de la Curva de Capacidad a Espectro de Capacidad.

El proceso de transformación de la Curva de Capacidad al Espectro de Capacidad se lleva a cabo utilizando el formato ADRS. Las ecuaciones propuestas por el ATC-40 para realizar esta transformación son las siguientes:

$$PF_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N \frac{(w_i * \phi_{i1})}{g} \right]}{\left[ \sum_{i=1}^N \frac{(w_i * \phi_{i1}^2)}{g} \right]} \quad (1)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^N \frac{(w_i * \phi_{i1})}{g} \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^N \frac{(w_i)}{g} \right] * \left[ \sum_{i=1}^N \frac{(w_i * \phi_{i1}^2)}{g} \right]} \quad (2)$$

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad (3)$$

$$S_d = \frac{\Delta_{roof}}{PF1 * \phi_{roof,1}} \quad (4)$$

$$T = 2\pi * \sqrt{\frac{S_a}{S_d}} \quad (5)$$

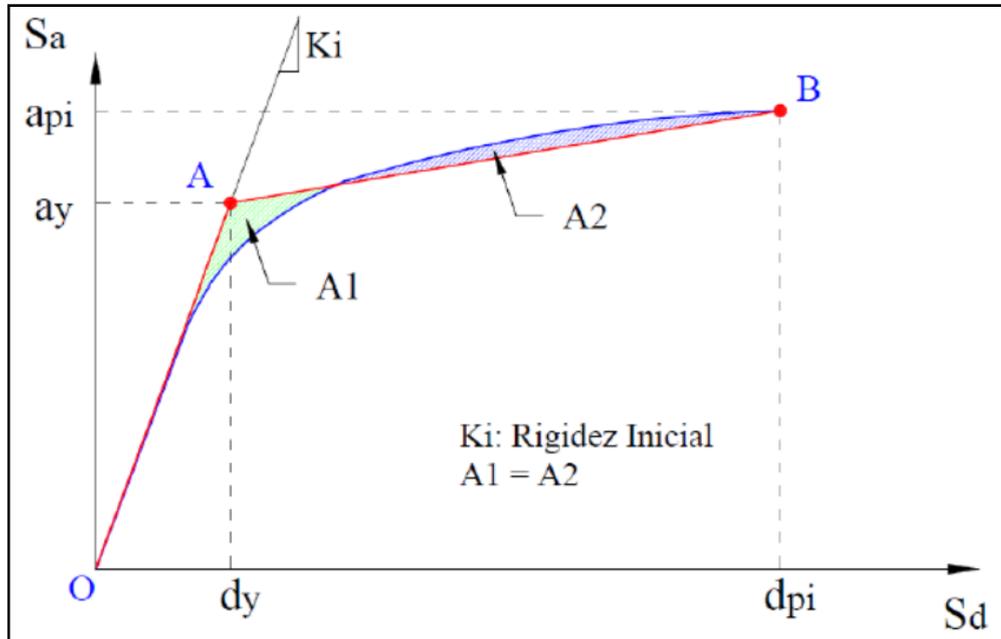
$PF1$ : Factor de participación modal para el modo predominante (modo 1);  
 $\alpha_1$ : Coeficiente de masa modal para el modo predominante (modo 1);  $w_i/g$ : Masa asignada al nivel  $i$ ;  $\phi_{i1}$ : Amplitud del modo predominante (modo 1) en el nivel  $i$ ;  
 $N$ : Nivel  $N$ , el nivel más alto en la parte principal de la estructura;  $V$ : Cortante basal;  
 $W$ : Peso muerto de la estructura más la probable carga viva (Peso sísmico);  $\Delta_{roof}$ : Desplazamiento del techo ( $V$  y  $\Delta_{roof}$  asociado a la curva de capacidad);  $S_a$ : Aceleración espectral;  $S_d$ : Desplazamiento espectral.

- Representación bilineal del Espectro de Capacidad.

Para determinar la amortiguación efectiva y la reducción apropiada de la demanda espectral, es esencial representar el Espectro de Capacidad y el punto ( $api$ ,  $dpi$ ) de manera bilineal. Este punto de desempeño experimental es fundamental

para la creación del espectro de respuesta de la demanda reducida. El proceso a seguir es el siguiente:

- a) Se traza una línea recta desde el origen, punto O, con una pendiente igual a la rigidez inicial  $K_i$  de la estructura dentro del rango elástico, donde el subíndice  $i$  indica el número de iteración.
- b) Se define un punto de desempeño experimental  $(d_{pi}, a_{pi})$ , identificado como B, que se utiliza para obtener el espectro de demanda reducido.
- c) Se dibuja una línea desde el punto B hasta que intercepte la línea definida en el paso 1. La pendiente de esta segunda línea se ajusta de manera que, al interceptar la primera línea en el punto A, de coordenadas  $(d_y, a_y)$ , las áreas A1 y A2, que están respectivamente arriba y abajo del espectro de capacidad, sean iguales.
- d) Esta condición se aplica para asegurar que la curva de capacidad y su representación bilineal compartan la misma energía. El punto A representa la fluencia de la estructura en el formato bilineal.
- e) La representación bilineal de la curva de capacidad se define uniendo los puntos OAB con una línea.

**Figura 7***Bilineal de la curva de capacidad*

Nota: ATC-40, (1996)

- Amortiguamiento viscoso equivalente y espectro de demanda reducido

El amortiguamiento presente en la estructura después de un sismo se compone de dos elementos: el amortiguamiento viscoso, que no forma parte intrínseca de la estructura, y el amortiguamiento histerético. Este último se calcula como el área bajo los ciclos formados en el gráfico de las fuerzas sísmicas, que corresponden a las cortantes basales y el desplazamiento de la estructura. Este tipo de amortiguamiento puede expresarse en términos del amortiguamiento viscoso equivalente  $\beta_{eq}$  y el desplazamiento máximo  $d_{pi}$ , utilizando la siguiente fórmula:

$$\beta_{eq} = \beta_0 + 0.05 \quad (6)$$

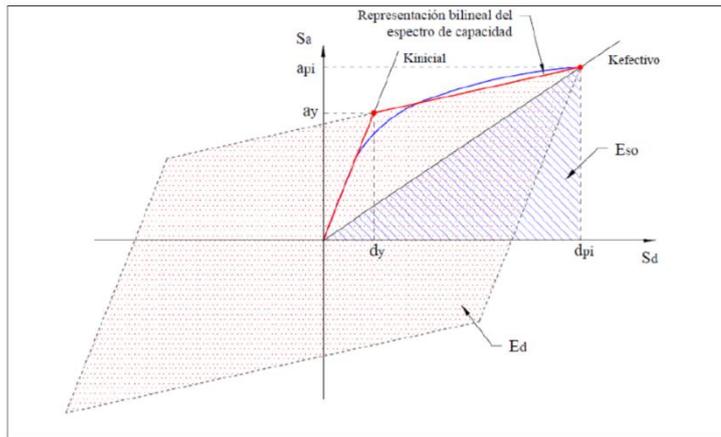
Donde:  $\beta_0$  se refiere al amortiguamiento viscoso equivalente, que es el amortiguamiento histerético representado en la estructura; mientras que el valor 0.05 indica el 5% del amortiguamiento viscoso inherente presente en la estructura, que se mantiene constante.

Según Chopra, el  $\beta_0$  puede determinarse por:

$$\beta_0 = \frac{1}{4 * \pi} * \frac{E_D}{E_{SO}} \quad (7)$$

### Figura 8

*Amortiguamiento  $\beta_0$  para reducir el espectro de capacidad*



Nota: ATC-40, (1996)

Donde:  $E_D$  que corresponde a la energía disipada por amortiguamiento, y  $E_{SO}$  que representa la energía de deformación máxima.

$E_D$  se representa como el área del paralelogramo en el cuarto cuadrante, mientras que  $E_{SO}$  se calcula como el área del triángulo en el primer cuadrante. La fórmula para determinar estos valores es:

$$E_{SO} = \frac{a_{pi} * d_{pi}}{2} \quad (8)$$

Con la ayuda de las siguientes ecuaciones determinamos el valor de  $\beta_0$ :

$$\beta_0 = \frac{1}{4\pi} * \frac{4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi} / 2} \quad (9)$$

$$\beta_0 = \frac{2}{\pi} * \frac{4(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi} / 2} \quad (10)$$

$$\beta_0 = \frac{0.637(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} \quad (11)$$

Posteriormente, el amortiguamiento viscoso equivalente  $\beta_{eq}$  se establece transformando  $\beta_0$  en porcentaje del amortiguamiento crítico.

$$\beta_{eq} = \frac{63.7(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}} + 5 \quad (12)$$

Para edificios dúctiles con movimientos relativamente cortos y un amortiguamiento viscoso equivalente menor al 30%, el ciclo de histéresis representado anteriormente se considera una aproximación adecuada. Sin embargo, para aquellos edificios que no cumplen con estos criterios, el ciclo de histéresis puede no ser apropiado. En tales casos, se define el amortiguamiento viscoso efectivo  $\beta_{eff}$ , que ajusta el término  $\beta_0$  mediante un factor  $k$ .

$$\beta_{eff} = k * \beta_0 + 5 \quad (13)$$

El parámetro  $k$  varía según el comportamiento estructural, la resistencia de la estructura y la persistencia del movimiento del suelo. Estos valores de  $k$  se encuentran dentro de tres rangos distintos con límites que se ajustan al tipo de comportamiento estructural.

**Tabla 1**

*Factor de modificación de amortiguamiento K*

Tipo de Comportamiento Estructural	$\beta_0$ (%)	k
Tipo A	$\leq 16.25$	1
	$> 16.25$	$1.13 - \frac{0.51(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Tipo B	$\leq 25$	0.67
	$> 25$	$0.845 - 1.13 - \frac{0.446(a_y d_{pi} - d_y a_{pi})}{a_{pi} d_{pi}}$
Tipo C	Cualquier valor	0.33

Nota: ATC-40, (1996).

Los factores de reducción  $SR_A$  y  $SR_B$  no deben ser menores a los siguientes valores:

**Tabla 2**

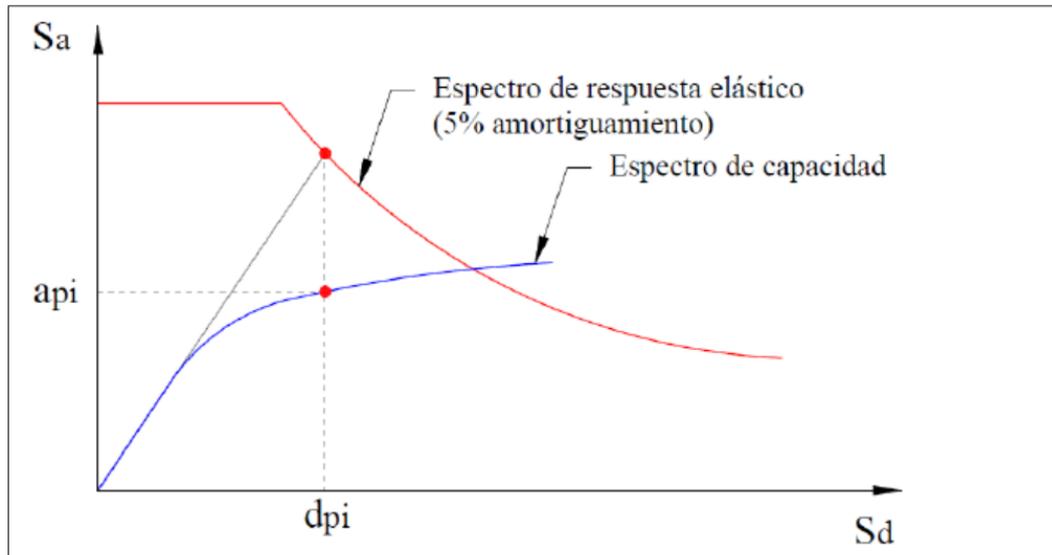
*Valores mínimos permitidos de SRA y SRV*

<b>Tipo de Comportamiento Estructural</b>	<b>SRV</b>	<b>SRA</b>
Tipo A	0.33	0.5
Tipo B	0.44	0.56
Tipo C	0.56	0.67

Nota: ATC-40, (1996).

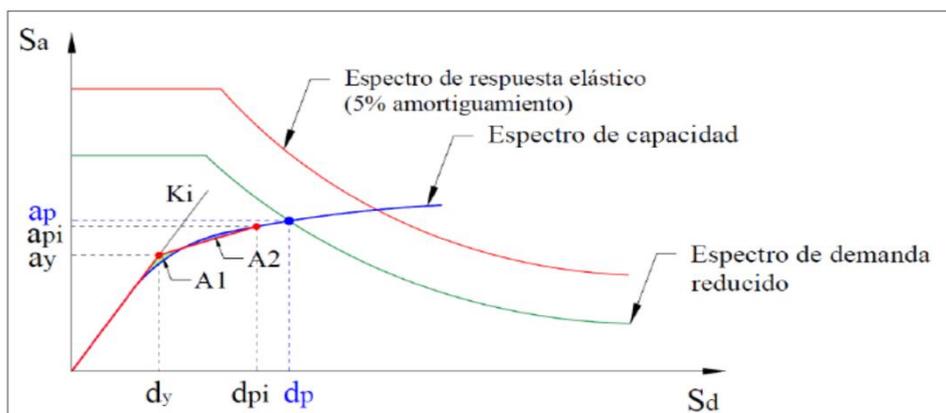
Procedimiento de aplicación directa del método será:

- a) Generar el espectro de respuesta elástico siguiendo los procedimientos establecidos, que aborda la demanda sísmica.
- b) Obtener la curva de capacidad de la estructura mediante un análisis Pushover.
- c) Transformar la curva de capacidad en un espectro de capacidad y representar ambos espectros, el elástico y el de capacidad, en un mismo gráfico.
- d) Seleccionar un punto de prueba para el desempeño ( $d_{pi}$ ,  $a_{pi}$ ), el cual puede determinarse utilizando la técnica de "aproximación de desplazamientos iguales". Esto implica que el desplazamiento espectral inelástico sería el mismo que si la estructura exhibiera un comportamiento completamente elástico.
- e) Utilizar el punto de prueba de desempeño seleccionado para desarrollar una representación bilineal del espectro de capacidad.
- f) Calcular los factores de reducción espectral  $SRA$  y  $SRV$ , y generar el espectro de demanda reducida para luego superponerlo en el gráfico anterior.
- g) Identificar el punto de intersección entre el espectro de capacidad y el espectro de demanda reducida ( $d_p$ ,  $a_p$ ).

**Figura 9***Estimación del punto de desempeño de prueba*

Nota: ATC-40, (1996).

- h) Si el desplazamiento  $dp$  cae dentro de un rango de  $\pm 5\%$  del desplazamiento asumido  $d_{pi}$  ( $0.95d_{pi} \leq dp \leq 1.05d_{pi}$ ), entonces el punto de desempeño de prueba ( $d_{pi}, a_{pi}$ ) se considera como el punto de desempeño final ( $dp, ap$ ), y el valor de  $dp$  representa el desplazamiento máximo esperado de la estructura para el sismo considerado.

**Figura 10***Determinación del punto de desempeño*

Nota: ATC-40, (1996).

### 2.2.13.2. Procedimiento según el FEMA 440

El FEMA 440 (2005) presenta un enfoque mejorado denominado Procedimiento de Linealización Equivalente Mejorado (Improved Equivalent Linearization), el cual surge a partir de una revisión exhaustiva del método propuesto por el ATC-40. Este nuevo método tiene como objetivo determinar la respuesta máxima de desplazamiento de un sistema no lineal a través de un sistema lineal equivalente, utilizando un período efectivo  $T_{eff}$  y un amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ . Estos parámetros dependen de las características de la curva de capacidad, así como del período y el amortiguamiento inicial del sistema, además de la demanda de ductilidad  $\mu$ . El Capítulo 6 del FEMA 440 propone tres procedimientos (A, B y C) para estimar el punto de desempeño, destacando la similitud con el enfoque presentado en el ATC-40.

Los parámetros fundamentales de la linealización equivalente,  $T_{eff}$  y  $\beta_{eff}$ , serán obtenidos mediante un análisis estadístico diseñado para mitigar las ocurrencias extremas, es decir, los errores, en las respuestas del sistema inelástico real y su equivalente lineal. Los parámetros lineales equivalentes se describen de la siguiente manera:

- Amortiguamiento efectivo:

Los tres escenarios para calcular el amortiguamiento viscoso efectivo están condicionados por la ductilidad global del edificio  $\mu$ , expresada como un porcentaje del amortiguamiento crítico. Estos cálculos se aplican a todos los modelos histeréticos y valores de "a", empleando la siguiente fórmula:

**Tabla 3**

*Ecuaciones del amortiguamiento efectivo según la ductilidad*

Ductilidad ( $\mu$ )	Amortiguamiento viscoso efectivo ( $\beta_{eff}$ )
$1.0 < \mu < 4.0$	$A (\mu - 1) / (2 + B (\mu - 1) / 3 + \beta_0)$
$4.0 \leq \mu < 6.5$	$C + D (\mu - 1) + \beta_0$
$\mu > 6.5$	$E [F(\mu-1) - 1 / \{[F(\mu-1) - 1]^2\} / 2 + \beta_0 (T_{eff} / T_0)^2]$

Donde los coeficientes A, B, C, D, E y F se encuentran en la tabla 6-1 del FEMA440.

Se realizaron ajustes en las ecuaciones aproximadas para determinar el valor del amortiguamiento viscoso efectivo  $\beta_{eff}$ , con el propósito de su aplicabilidad en diversas curvas de capacidad, independientemente del modelo histérico o el valor de  $\alpha$  empleados en el análisis. Las ecuaciones optimizadas son las siguientes:

**Tabla 4**

*Ecuaciones optimizadas del amortiguamiento efectivo según la ductilidad*

<b>Rango de <math>\mu</math></b>	<b>Fórmula para <math>\beta_{eff}</math></b>
$1.0 < \mu < 4.0$	$4.9*(\mu-1)^2 + 1.1*(\mu-1)^3 + \beta_0$
$4.0 \leq \mu < 6.5$	$14.0 + 0.32*(\mu-1) + \beta_0$
$\mu > 6.5$	$19*((0.64*(\mu-1)-1)/((0.64*(\mu-1)-1)^2)) * ((T_{eff}/T_0)^2) + \beta_0$

- Periodo efectivo:

El valor del periodo efectivo para los modelos histéricos y valores de  $\alpha$  se determinarán a través de las ecuaciones:

**Tabla 5**

*Ecuaciones del periodo efectivo según la ductilidad*

<b>Coficiente</b>	<b>Valor</b>
$1.0 < \mu < 4.0$	$T_{eff} = [G(\mu-1)^2 + H(\mu-1)^3 + 1]T_0$
$4.0 \leq \mu < 6.5$	$T_{eff} = [I + J(\mu-1) + 1]T_0$
$\mu > 6.5$	$T_{eff} = [K(\sqrt{\mu-1}/(1+L(\mu-2)) - 1) + 1]T_0$

Donde los coeficientes G, H, I, J, K y L se especifican en la tabla 6-2 del FEMA 440.

Se optimizaron las ecuaciones aproximadas para el valor de  $T_{eff}$  con el propósito de aplicarlas a otros espectros de capacidad, independientemente del tipo de modelo histérico o del valor de  $\alpha$  utilizado en este estudio. Las ecuaciones resultantes son las siguientes:

**Tabla 6**

*Ecuaciones optimizadas del periodo efectivo según la ductilidad.*

<b>Rango de <math>\mu</math></b>	<b>Fórmula para <math>T_{eff}</math></b>
$1.0 < \mu < 4.0$	$0.20(\mu - 1)^2 + 0.038(\mu - 1)^3 + 1 * T_0$
$4.0 \leq \mu < 6.5$	$0.28 + 0.13(\mu - 1) + 1 * T_0$
$\mu > 6.5$	$0.89 * \text{sqrt}((\mu - 1) / (1 + 0.05 * (\mu - 2))) - 1 + 1 * T_0$

Todas las ecuaciones anteriores solo se podrán aplicar para  $T_0$  iguales a 0.2 a 2 segundos.

- Espectro de Respuesta Aceleración – Desplazamiento Modificado.

Se calcula un desplazamiento máximo similar utilizando las ecuaciones de periodo y amortiguamiento efectivo, así como la intersección de la línea radial del periodo efectivo en la demanda sísmica en formato ADRS para el amortiguamiento efectivo, como se muestra en la Figura 1-20. El periodo secante  $T_{sec}$  suele ser más largo en comparación con el periodo efectivo  $T_{eff}$ , que es parte del procedimiento mejorado, descrito en el punto de la curva de capacidad correspondiente al desplazamiento máximo  $d_{max}$ . Por otro lado, el valor de la aceleración  $a_{eff}$  no es significativo, ya que la máxima aceleración real  $a_{max}$  debería estar por encima de la curva de capacidad y ser similar al desplazamiento máximo  $d_{max}$ .

Se obtiene la curva de demanda ADRS modificada que interseca con la curva de capacidad en el punto de desempeño, mediante la multiplicación de las ordenadas de la demanda con amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$  y el factor de modificación M, que está en formato ADRS. Este factor de modificación se determina mediante la siguiente ecuación:

$$M = \frac{a_{max}}{a_{eff}} \quad (14)$$

El factor de modificación M puede expresarse en función de los periodos correspondientes, ya que la aceleración y periodo están relacionados.

$$M = \left(\frac{T_{eff}}{T_{sec}}\right)^2 = \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right)^2 \left(\frac{T_0}{T_{sec}}\right)^2 \quad (15)$$

$$\left(\frac{T_0}{T_{sec}}\right)^2 = \frac{1 + \alpha(\mu - 1)}{\mu} \quad (16)$$

- Reducción espectral para el amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$

Es necesario contar con factores de reducción espectral para ajustar el espectro de respuesta inicial a un nivel apropiado de amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ , dado que es uno de los requisitos de los procedimientos de linealización equivalente. Estos factores de reducción dependen del coeficiente de amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ . Utilizando la siguiente ecuación, se determinará la ordenada espectral reducida:

$$(S_a)_\beta = \frac{(S_a)_0}{\beta(\beta_{eff})} \quad (17)$$

El valor de B puede ser determinado de diversas maneras. Sin embargo, la más recomendada y comúnmente utilizada es a través de la siguiente ecuación:

$$B = \frac{4}{5.6 - \ln \beta_{eff} \text{ en } (\%)} \quad (18)$$

- Procedimiento de aplicación

Se necesita un método gráfico o iterativo para calcular directamente el máximo desplazamiento usando la linealización equivalente, ya que tanto el amortiguamiento  $\beta_{eff}$  como el período efectivo  $T_{eff}$  dependen de la ductilidad  $\mu$ . El método A, también conocido como iteración directa, busca converger directamente en el punto de desempeño. Es importante destacar que los espectros

de demanda en formato ADRS no se modificarán para cada valor de  $\beta_{eff}$  con el fin de que coincidan con el espectro de capacidad. El procedimiento es el siguiente:

- a) Seleccionar un espectro de demanda sísmica de interés con un amortiguamiento inicial de  $\beta_0 = 5\%$  (espectro de respuesta elástico).
- b) Convertir dicho espectro al formato ADRS según el ATC-40 (Demanda ADRS inicial).
- c) Generar la curva de capacidad de la estructura a analizar, representada como Cortante vs. Desplazamiento en el techo, y convertirla al formato ADRS según el ATC-40.
- d) Seleccionar un punto de desempeño inicial (aceleración máxima  $a_{pi}$  y desplazamiento  $d_{pi}$ ). Esto puede estimarse utilizando la aproximación de desplazamientos iguales.
- e) Desarrollar la representación bilineal del espectro de capacidad según el ATC-40. Esto define el período inicial  $T_0$ , el desplazamiento y la aceleración de fluencia  $d_y$  y  $a_y$ .
- f) Para la representación bilineal desarrollada en el paso e, calcular los valores de rigidez post-elástica  $\alpha$  y ductilidad  $\mu$  como sigue:

$$\alpha = \frac{\frac{a_{pi} - a_y}{d_{pi} - d_y}}{\frac{a_y}{d_y}} \quad (19)$$

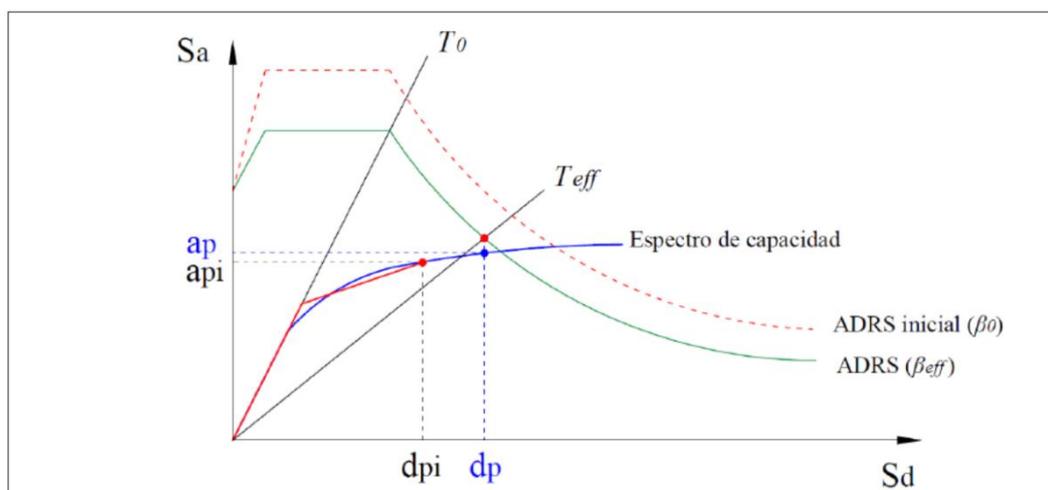
$$\mu = \frac{d_{pi}}{d_y} \quad (20)$$

- a) Utilizando valores de  $\alpha$  y  $\mu$  obtenidos, se calcula los correspondientes  $\beta_{eff}$  y  $T_{eff}$ .

- b) Con estos valores calculados del amortiguamiento efectivo y el periodo efectivo, ajustamos la demanda ADRS inicial a  $\beta_{eff}$
- c) Calcular el desplazamiento máximo estimado  $d_i$  al encontrar la intersección del período efectivo radial con la demanda ADRS correspondiente al amortiguamiento efectivo  $\beta_{eff}$ . La aceleración máxima estimada  $a_i$  se determina como la que corresponde a  $d_i$  sobre la curva de capacidad.
- d) Evaluar la comparación entre el desplazamiento máximo estimado  $d_i$  y el valor asumido inicialmente (o previo). Si  $d_i$  está dentro de la tolerancia aceptable, el punto de desempeño se confirma como  $a_i$  y  $d_i$ . En caso contrario, se repite el proceso desde el paso 4, utilizando los valores actualizados de  $a_i$  y  $d_i$ .

### Figura 11

*Interacción del espectro de capacidad y de demanda para encontrar el punto de desempeño*



Nota: FEMA 440, (2005)

### 2.2.13.3. Método de los coeficientes de desplazamientos modificado (ASCE 41-13)

El FEMA 440 ha introducido mejoras para el Método de Coeficientes de FEMA 356 (2000). Las recomendaciones incluyen diversas alternativas mejoradas para la relación básica del desplazamiento máximo (elástico más inelástico) para un

oscilador SDOF elástico perfectamente plástico en comparación con el desplazamiento máximo para un oscilador completamente elástico lineal, designado como coeficiente C1 en FEMA 356. Se sugiere eliminar las limitaciones actuales permitidas por FEMA 356 al coeficiente C1. Además, se reconoce una distinción entre dos tipos diferentes de degradación de la fuerza que tienen diferentes efectos en la respuesta y el rendimiento del sistema. Esta distinción conduce a recomendaciones para que el coeficiente C2 tenga en cuenta la degradación cíclica de la resistencia y la rigidez. También se sugiere eliminar el coeficiente C3 y reemplazarlo por una limitación de la fuerza. Las expresiones propuestas para los coeficientes se basan en datos empíricos y se han formulado para proporcionar estimaciones de los valores esperados en función de los resultados analíticos disponibles sobre la respuesta de los osciladores SDOF sujetos a los registros de movimiento del suelo.

Para edificaciones con diafragmas rígidos, el desplazamiento objetivo  $\delta_t$  debe calcularse a partir de la siguiente ecuación:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left( \frac{T e^2}{4\pi^2 g} \right) \quad (21)$$

Donde:

- $C_0$ : Factor de modificación que relaciona los desplazamientos espectrales de un sistema equivalente de un grado de libertad con los desplazamientos en el tope del sistema de múltiples grados de libertad de la edificación. Puede calcularse mediante la multiplicación del factor de participación de masa por la ordenada de la forma modal del modo fundamental de vibración en el nodo control, o tomando valores a partir de una tabla especificada.
- $C_1$ : Factor de modificación que relaciona los máximos desplazamientos inelásticos esperados con los calculados para una respuesta lineal elástica.

El coeficiente C1 se propone con una expresión relativamente simple en FEMA 356. Se sugiere no usar la limitación actual para estructuras de período corto,

lo cual puede aumentar las estimaciones de desplazamiento para algunas estructuras. La expresión simplificada para el coeficiente es:

$$C_1 = 1 + \frac{(\mu_{strength} - 1)}{aTe^2} \quad (22)$$

Donde:

- a: clasificación del tipo de suelo en el sitio (ASCE 7)
  - $\mu_{strength}$  = Relación entre la demanda elástica de resistencia y el coeficiente de resistencia a la cedencia calculado.
- $C_2$ : es el factor de modificación que representa el efecto de estrangulamiento en la curva de histéresis, degradación de la rigidez cíclica, y deterioro de resistencia en la respuesta máxima en términos de desplazamiento. La ecuación de  $C_2$  es:

$$C_2 = 1 + \frac{1}{180} \left( \frac{(\mu_{strength} - 1)}{Te} \right)^2 \quad (23)$$

- $C_3$ : es reemplazado por un límite de resistencia mínima ( $\mu_{max}$ ) para evitar la inestabilidad dinámica. La relación de resistencia máxima se calcula como:

$$\mu_{max} = \frac{\Delta_d}{\Delta_y} + |\alpha_e| - \frac{h}{4} \quad (24)$$

Donde:

- $\Delta_d$ : Menor entre el desplazamiento objetivo  $\delta t$  y el desplazamiento correspondiente al máximo corte basal definido en la curva idealizada fuerza-deformación de la edificación.
- $\Delta_y$ : Desplazamiento en la resistencia cedente efectiva.

### 2.3. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

- SISTEMA DUAL: Este sistema combina pórticos reforzados con muros portantes hechos de concreto armado, albañilería armada o confinada. En él, los muros absorben la mayor parte de los esfuerzos en los niveles inferiores, mientras que los pórticos se encargan de disipar la energía en los niveles superiores. Según la norma sísmica "E.030 Diseño Sismorresistente", las fuerzas sísmicas se reparten entre los pórticos y los muros estructurales. Los muros deben soportar una carga de corte que varía entre más del 20% y menos del 70% del corte en la base del edificio (Diseño Sismorresistente (E 030), 2018).
- PÓRTICOS: Conforme a la normativa "E.030 Diseño Sismorresistente", al menos el 80% de la fuerza cortante en la base se concentra en las columnas de los pórticos. Si hay muros estructurales, se diseñan para absorber una parte de la carga sísmica total en proporción a su rigidez (Diseño Sismorresistente (E 030), 2018).
- MURO PORTANTE: Un "muro estructural" es una pared dentro de un edificio que desempeña un papel fundamental en la resistencia y estabilidad de la estructura. Este tipo de muros, también conocidos como muros de carga, están diseñados para soportar tanto cargas verticales (como el peso de los pisos superiores) como cargas horizontales (como las fuerzas del viento o los movimientos sísmicos). La norma "E.070 Albañilería" establece los criterios para su diseño y construcción. Según esta norma, un muro estructural debe ser capaz de transferir las cargas que recibe desde los niveles superiores hacia los niveles inferiores o hacia la cimentación del edificio de manera eficiente y segura. Esto significa que deben ser lo suficientemente fuertes y rígidos para resistir las fuerzas aplicadas durante eventos como terremotos o vientos fuertes, manteniendo la integridad estructural del edificio. Los muros estructurales son componentes clave en la configuración de la estructura de un edificio de albañilería, ya que

proporcionan estabilidad y resistencia contra las fuerzas externas. Es importante que estos muros mantengan una continuidad vertical adecuada para garantizar su eficacia en la distribución de cargas y mantener la estabilidad general del edificio(Ottazzi, 2006).

- MURO NO PORTANTE: De acuerdo con la norma "E.070 Albañilería", un muro de carga está diseñado y construido de manera que solo soporta cargas generadas por su propio peso y cargas que actúan de manera perpendicular a su superficie. Ejemplos de este tipo de muros son los parapetos y cercos (Bartolomé y Quiun, 2010).
- VULNERABILIDAD SISMICA: De acuerdo con Alex Barbat en su trabajo de 1998, la vulnerabilidad sísmica se refiere a la inclinación inherente de una estructura a experimentar daños cuando se produce un evento sísmico. Esta está directamente relacionada con las características físicas y el diseño estructural de la misma (Diseño Sismorresistente (E 030), 2018).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. HIPÓTESIS**

##### **3.1.1. Hipótesis general**

El desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada tendrá un impacto significativo según el tipo de suelo en la que se diseñó, Puno.

##### **3.1.2. Hipótesis específicas**

- Las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en Puno utilizan predominantemente sistemas de pórticos en todos los tipos de suelos.
- Las distorsiones admisibles de entrepiso de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022 en Puno no cumplen con los límites establecidos por la norma peruana de diseño sismorresistente.
- Las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en Puno presentan mayores daños en suelos blandos en comparación con otros tipos de suelo.

## **3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

### **3.2.1. Identificación de la variable independiente**

Tipos de suelo

#### **3.2.1.1. Indicadores**

- Perfiles de suelo
- Velocidad de Corte
- Factor de Suelo
- Periodos de suelo

#### **3.2.1.2. Escala para la medición de la variable**

Tipos

### **3.2.2. Identificación de la variable dependiente**

Comportamiento Sísmico de edificaciones

- Indicadores
  - Características de la edificación
  - Configuración estructural
  - Desplazamientos laterales relativos
  - Diagrama de momento curvatura
  - Capacidad estructural
  - Nivel de daño

#### **3.2.2.1. Escala para la medición de la variable**

- $\Delta_i / h_{ei}$

- Niveles de desempeño de la edificación (ATC-40).

### **3.2.3. Variables intervinientes**

## **3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La presente investigación es de tipo básica, debido a que se determinara el cumplimiento de las estructuras mediante los periodos de vibración y los desplazamientos relativos de entre piso, con la cual el propósito es incrementar el conocimiento.

## **3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

Este estudio es de nivel descriptivo ya que se describirá tres aspectos, las características de las edificaciones con licencia aprobada, el nivel de cumplimiento de derivas establecida por la norma E030, además del desempeño sísmico alcanzado por las edificaciones evaluadas.

## **3.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El diseño es no experimental de forma transversal ya que solo se evaluará en el año 2022, específicamente en la ciudad de Puno, Perú. Esta investigación se centrará en analizar el desempeño sísmico de edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en diversos tipos de suelos en Puno. La elección de Puno como lugar de estudio se debe a su ubicación en una zona sísmicamente activa, lo que proporciona un contexto adecuado para evaluar el impacto de diferentes tipos de suelos en el comportamiento sísmico de las edificaciones.

## **3.6. ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación se realizó en el distrito, provincia y departamento de Puno.

### 3.7. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.7.1. Unidad de estudio

La unidad de estudio en esta investigación son las edificaciones con licencia aprobada en el año 2022.

#### 3.7.2. Población

Según la Municipalidad provincial de Puno (MPP) registro una aprobación de 174 licencias aprobadas en el 2022 en tres categorías diferentes, siendo un total de 115 edificaciones en modalidad B aprobadas principalmente por el personal municipal.

#### 3.7.3. Muestra

Por otra parte, la muestra se determinó el tipo de muestra probabilística aplicando la siguiente fórmula:

$$n = \frac{z^2(pq)}{e^2 + \frac{(z^2(pq))}{N}} \quad (25)$$

Donde: “n” es el tamaño de la muestra, “N” es el tamaño de población, “z” es el nivel de confianza deseado de 1.96, “p” es la proporción de la población con la característica deseada (éxito) con 0.5, “q” es la proporción de la población sin la característica deseada (fracaso) con un valor de 0.5 y “e” es el nivel de error dispuesto a cometer con 0.05. El valor de la muestra calculada a un 95% de confianza fue de 89 edificaciones, de las cuales se aleatorizarán del total de la población.

Se aplico criterios de exclusión que fueron los siguientes criterios: edificaciones de tres niveles a más, ya que según Ahmed *et al.* (2021), son los más propensos a colapsar con relación a la actividad sísmica. Como segundo criterio, aplicara el estudio en las edificaciones que no presenten una memoria de cálculo

detallada, ya que según Halder y Paul (2016a), con esto se presumiría que fueron diseñadas para cargas gravitacionales y lo que es peor sin consulta de un ingeniero.

De lo mencionado anteriormente y relacionado con los tipos de suelos reportados en el plan de desarrollo urbano del distrito de Puno se utilizará una muestra de 20 edificaciones.

### **3.8. PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

#### **3.8.1. Procedimiento**

El procedimiento en esta investigación es recolectar información como planos arquitectónicos, de ubicación y localización, planos estructurales con sus respectivas memorias de cálculo. Posteriormente realizar modelados de las edificaciones considerando las características aprobadas para poder determinar irregularidades, y derivas. Además de determinar el desempeño de las edificaciones considerando las cuantías de acero en los elementos estructurales aprobados.

#### **3.8.2. Técnicas**

Las técnicas utilizadas para cada objetivo se describen a continuación:

- Para el primer objetivo se utilizó como técnica la observación y la revisión de los planos estructurales aprobados de las edificaciones, con el fin de determinar los parámetros de peligro sísmico y poder categorizar las edificaciones multifamiliares.
- Para el segundo objetivo se utilizó como técnica el modelamiento estructural en el software ETABS para determinar los periodos de vibración y determinar las derivas de cada edificación en ambos sentidos.
- Para el tercer objetivo se utilizó el ASCE 41 – 13, el cual es un documento técnico ampliamente utilizado en ingeniería sísmica que proporciona pautas para la evaluación del desempeño sísmico de edificaciones.

### **3.8.3. Instrumentos**

Los instrumentos utilizados para cada objetivo se describen a continuación:

Para el primer objetivo y el segundo objetivo se utilizó una la lista de chequeo para identificar el sistema estructural predominante y los parámetros sísmicos de las ubicaciones de cada edificación.

Para el tercer objetivo se utilizó una lista de chequeo para determinar el Desempeño sísmico.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS**

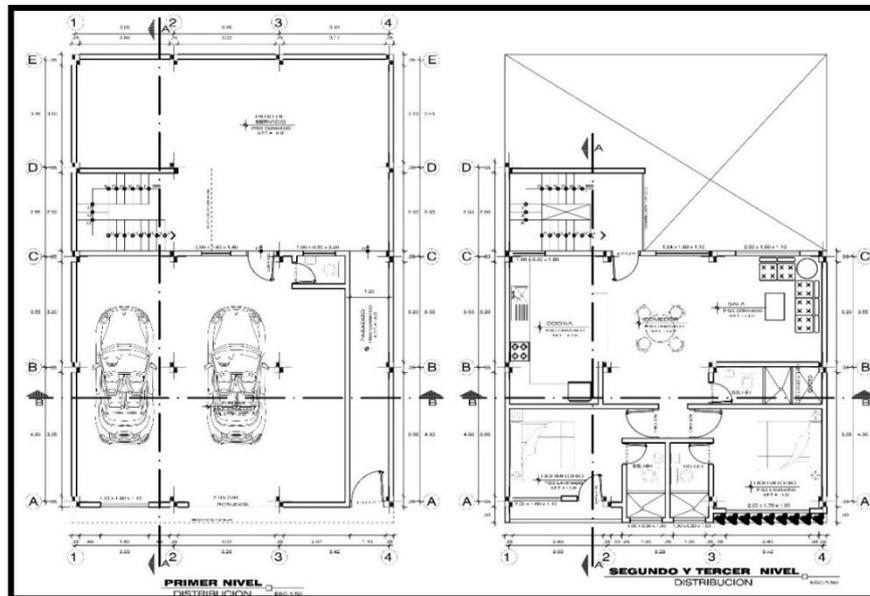
#### **4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO**

La siguiente sección se describirá por objetivos de manera gráfica y textual de un edificio con licencia aprobada (N° 117) de manera de ejemplo, sin embargo, este procedimiento se realizó para todas las edificaciones, siendo estos los pasos realizados:

- **Objetivo 1:** Clasificar estructuralmente las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022 según los diferentes tipos de suelos en Puno

**Figura 12**

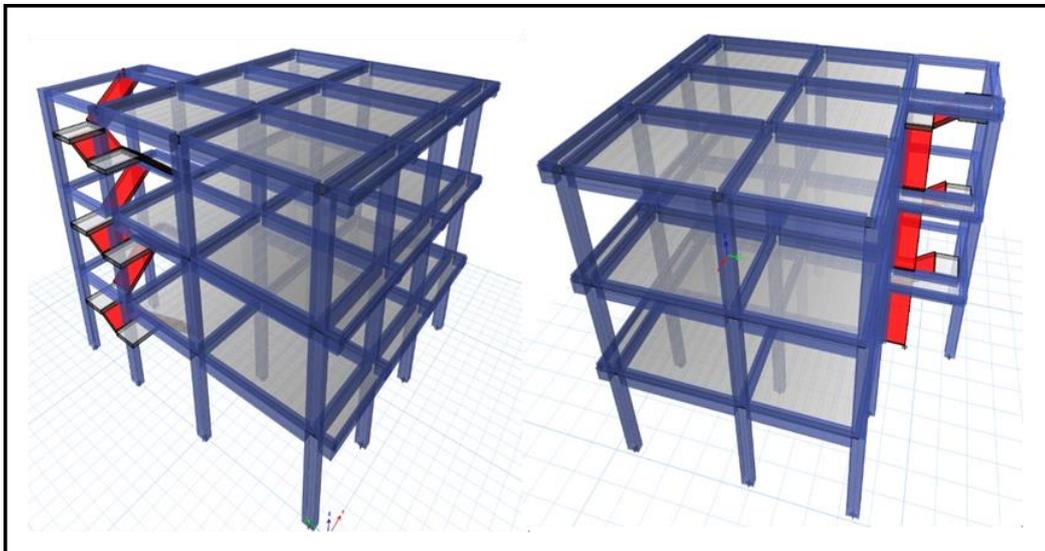
*Plano arquitectónico de la edificación con licencia aprobada N° 117*



Para este objetivo se realizó una revisión a los planos estructurales aprobados por la Municipalidad Provincial de Puno (MPP), con esta información se modeló las estructuras utilizando el software ETABS 20. Se extrajo información como dimensiones de columnas, vigas, losas aligeradas, dirección de viguetas.

**Figura 13**

*Modelo estructural de la edificación con licencia aprobada N° 117*



Con la ayuda de la distribución arquitectónica se estableció las cargas y además se utilizó la información de los planos estructurales, y si faltaba se aplicó lo estipulado en la norma de cargas - E020 (RNE, 2014), esto para todas las edificaciones.

**Tabla 7**

*Propiedades de los materiales para el modelamiento estructural y la aplicación de cargas gravitacionales*

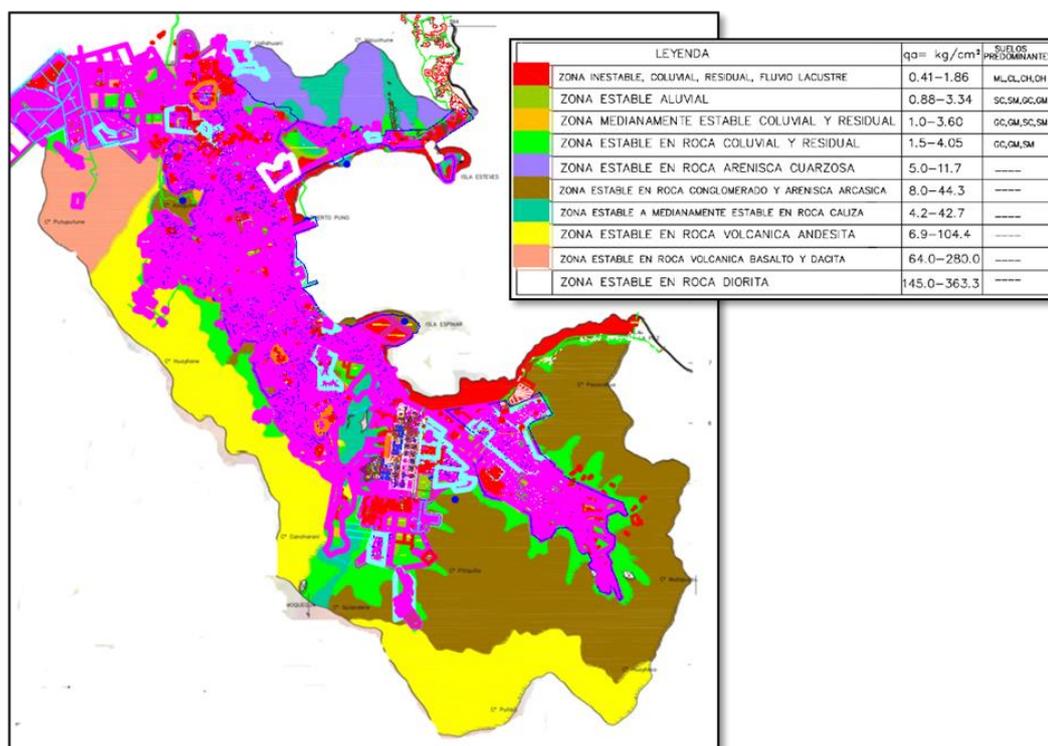
DESCRIPCIÓN	DATOS
Resistencia a la compresión	$F'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$
Fluencia del Acero	$F_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$
Módulo de Elasticidad del concreto	$E_c = 15000 * (F'c)^{0.5} \text{ kgf/cm}^2$
Módulo de Elasticidad del acero	$E_y = 2 * 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
Peso específico del concreto	$\gamma_c = 2.4 \text{ tonf/m}^3$
Peso específico del acero	$\gamma_y = 7.8 \text{ tonf/m}^3$
Peso específico del ladrillo King Kong	$\gamma_{kk} = 1.8 \text{ tonf/m}^3$
Peso específico del ladrillo Pandereta	$\gamma_{pa} = 1.3 \text{ tonf/m}^3$
Carga viva (corredores y escaleras)	$200 \text{ kgf/m}^2$

Para las cargas laterales de fuerza sísmica se utilizó la norma de Diseño sismorresistente - E030 (RNE, 2018b) si los planos estructurales no poseen la

información mínima. Además, para el tipo de suelo se utilizó el plano geotécnico de plan de desarrollo urbano de la ciudad de Puno y con la ayuda de la localización y ubicación de cada proyecto se permitió cubrir este vacío. El factor de zona ( $Z$ ) es igual a 0.35; el factor de uso ( $U$ ) es igual a 1; el factor de suelo ( $S$ ) dependía de la ubicación antes mencionada para cada edificación; el factor  $C$  para esto se utilizó la E030, y por último el Factor de reducción sísmica fue de 8 (pórticos), debido que los planos estructurales mencionaban que el sistema era ese.

### Figura 14

Plano de tipos de suelos del PDU de Puno



Con el modelado de la estructura la asignación de cargas gravitacionales y sísmicas se pudo simular la estructura para obtener el periodo de vibración, peso de la edificación y, además, poder determinar la existencia de irregularidades de cada edificación tanto en altura como en planta.

- **Objetivo 2:** Evaluar el cumplimiento de las distorsiones admisibles de entrepiso de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022, según la norma peruana de diseño sismorresistente, en Puno.

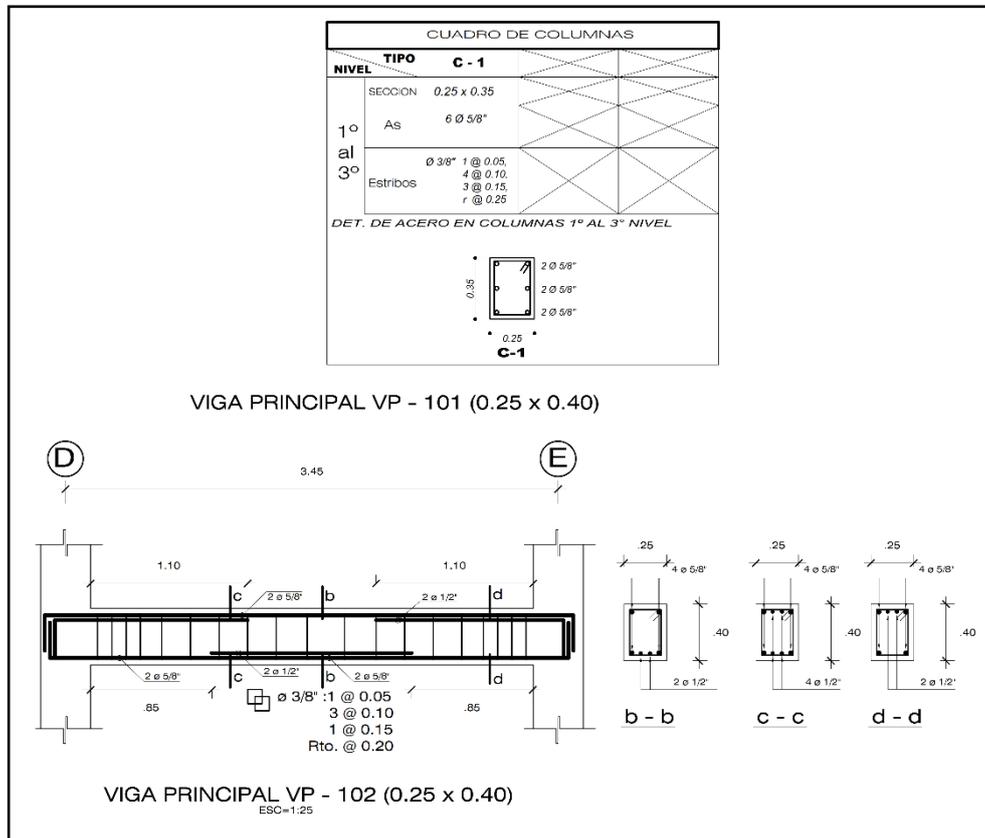
Para este objetivo se determinó la deriva de la estructura para ambos ejes de cada una de las edificaciones considerando si la edificación es regular e irregular, seguidamente se comparó estos resultados con lo establecido con la E030 con el valor de 0.007 que es para estructuras de concreto armado.

- **Objetivo 3:** Evaluar el impacto del tipo de suelo en el desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022 en Puno.

Para este objetivo primeramente se incorporó información al modelo, que fue los diámetros y disposición de varillas en las columnas, además, del área de acero de la parte superior e inferior (inicio y final) de los diferentes tipos de vigas aprobados por los funcionarios de la MPP. Este procedimiento se realizó para cada edificación.

**Figura 15**

*Distribución y cuantía de acero en columnas y vigas, respectivamente de la edificación con licencia aprobada.*



Posteriormente se distribuyó verticalmente las fuerzas sísmicas según lo indicado en el FEMA 356 (American Society of Civil Engineers, 2000). Donde estipula que la carga lateral  $F$  aplicada en cualquier nivel se pisó en la dirección de análisis se determinara de acuerdo con la ecuación que se proporciona a continuación:

$$F_x = \frac{W_x * h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i * h_i^k} * V_s \quad (26)$$

Donde:  $F_x$  es la fuerza lateral aplicada en el nivel de piso en dirección de análisis;  $V_s$  es la fuerza cortante total en la base de la estructura para lo cual se optó

por la cortante sísmica en cada dirección, según lo sugerido por (Acharjee, 2023; Aroquipa y Hurtado, 2022b; Croce *et al.*, 2018b; Halder y Paul, 2016b);  $W_x$  es la carga muerta en el nivel de piso;  $h_x$  es la altura del nivel de piso acumulada;  $n$  es el total de niveles de la edificación. Esta fórmula asegura que la distribución de las fuerzas sísmicas sea proporcional a las masas y alturas de los pisos, reflejando así la influencia de la dinámica estructural en la respuesta sísmica.

**Tabla 8**

*Fuerzas en la dirección X y Y para cada piso*

<b>Vbase_X 26.2896</b>				
<b>COEFICIENTES FX</b>				
Numero de Piso	Peso de cada Piso (Wi)	altura acumulada	Wi*h	cortante en cada piso
3	78.5757	9	707.18	12.05
2	89.4125	6.1	545.42	9.30
1	90.5652	3.2	289.81	4.94
	258.55		1542.41	26.2896

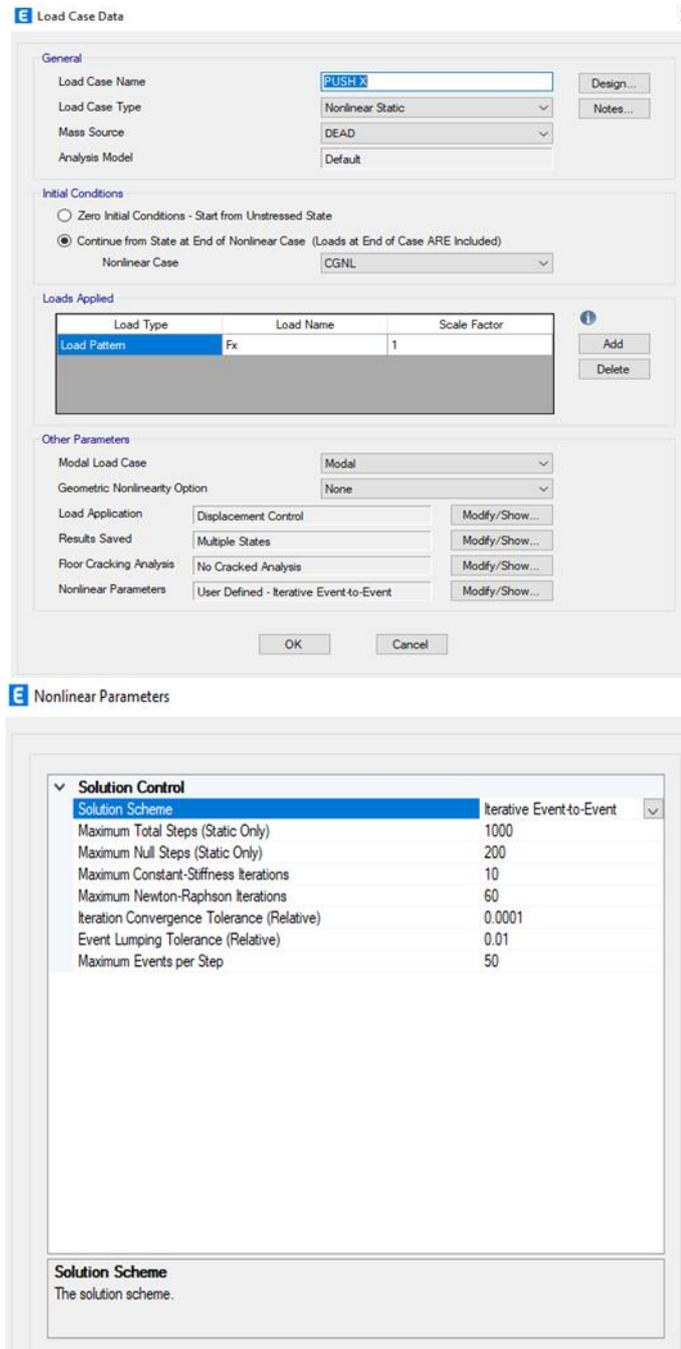
  

<b>Vbase_Y 23.7879</b>				
<b>COEFICIENTES FY</b>				
Numero de Piso	Peso de cada Piso (Wi)	altura acumulada	Wi*h	cortante en cada piso
3	78.5757	9	707.18	10.91
2	89.4125	6.1	545.42	8.41
1	90.5652	3.2	289.81	4.47
	258.55		1542.41	23.7879

Seguidamente se creó el empuje incremental (PUSH) en cada dirección de análisis considerando los siguientes parámetros en el software Etabs, con el fin de mejorar la calidad de los resultados.

**Figura 16**

*Caso de Carga del Push over con los parametros utilizados*



Posteriormente se creó las rotulas plásticas en vigas y en columnas siguiendo lo sugerido por (Aroquipa y Hurtado, 2022b; Calcina, 2017; Chumpitaz, 2021), estableciendo a 5% y 95% en Vigas y 0% y 85% en columnas. Además de

aplicar las tablas estipuladas por el ASCE 41 – 13 (ASCE, 2017), las cuales eran la tabla 10-7 para vigas y la 10-8 para columnas, este procedimiento en todas las edificaciones.

### Figura 17

*Creación de las Rotulas plásticas para vigas con los parámetros correspondientes*

**E** Frame Assignment - Hinges

**Frame Hinge Assignment Data**

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Distance from End m
Auto	Relative to clear length	0.05	
Auto M3	Relative to clear length	0.05	
Auto M3	Relative to clear length	0.95	

Add  
Modify  
Delete

**Auto Hinge Assignment Data**

Type: From Tables In ASCE 41-13  
Table: Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i  
DOF: M3, Isotropic hysteresis

**E** Auto Hinge Assignment Data

**Auto Hinge Type**  
From Tables In ASCE 41-17

**Select a Hinge Table**  
Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i

**Degree of Freedom**  
 M2  
 M3

Hysteresis Type: Isotropic Modify/Show

**V Value From**  
 Case/Combo: CGNL  
 User Value: V2  tonf

**Transverse Reinforcing**  
 Transverse Reinforcing is Conforming

**Reinforcing Ratio (p - p') / pbalanced**  
 From Current Design  
 User Value (for positive bending)

**Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity**  
 Drops Load After Point E  
 Is Extrapolated After Point E

**Figura 18**

*Creación de rotulas plásticas en columnas con los parámetros utilizados*

**E** Frame Assignment - Hinges

**Frame Hinge Assignment Data**

Hinge Property	Location Type	Relative Distance	Distance from End m
Auto	Relative to clear length	0	
Auto P-M2-M3	Relative to clear length	0	
Auto P-M2-M3	Relative to clear length	0.85	

**Auto Hinge Assignment Data**

Type: From Tables In ASCE 41-13  
 Table: Table 10-8 (Concrete Columns)  
 DOF: P-M2-M3

**E** Auto Hinge Assignment Data

**Auto Hinge Type**

From Tables In ASCE 41-17

Select a Hinge Table  
 Table 10-8 and 10-9 (Concrete Columns)

**Degree of Freedom**

M2       P-M2       Parametric P-M2-M3  
 M3       P-M3  
 M2-M3       P-M2-M3

**P Values From**

Case/Combo       User Value  
 Gravity: CGNL  
 Gravity + Lateral: Dead

**Concrete Column Behavior**

Not Controlled by Inadequate Development or Splicing  
 Controlled by Inadequate Development or Splicing

**Shear Demand at Flexural Yielding / Shear Capacity (VyE / Vcol0E)**

Program Calculated  
 User-specified Shear Demand, VyE  
     V2:       V3:   
 User-specified Ratio, VyE / Vcol0E  
     V2:       V3:

**Shear Reinforcing Ratio  $p = A_v / (b_w \cdot s)$**

From Current Design  
 User Value:

**Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity**

Drops Load After Point E  
 Is Extrapolated After Point E

**Shear Reinforcement Spacing Ratio (s/d)**

From Current Design  
 User Value:

Finalmente se estableció la demanda sísmica para 4 tipos de sismos el frecuente (43 años), sismo ocasional (72 años), sismo raro (475 años) y sismo muy raro (2500 años), empleándose la ecuación establecida por la norma E030 y modificando el factor de reducción sísmica para cada tipo 2, 1.667, 1 y 0.667, respectivamente. Como lo sugieren (Aroquipa y Hurtado, 2022b; Calcina, 2017; Chumpitaz, 2021), el cual consiste vincular la capacidad de la estructura y la demanda sísmica con el fin de encontrar el desempeño y así poder tomar acciones.

## **4.2. DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS**

En la presente investigación se presentarán los resultados por objetivos específicos con el fin de abordar de una manera entendible y coherente el procedimiento del presente proyecto de investigación los cuales serán:

- Clasificar estructuralmente las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022 según los diferentes tipos de suelos en Puno
- Evaluar el cumplimiento de las distorsiones admisibles de entrepiso de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022, según la norma peruana de diseño sismorresistente, en Puno.
- Evaluar el impacto del tipo de suelo en el desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en 2022 en Puno.

## **4.3. RESULTADOS**

### **4.3.1. Clasificación estructural de las edificaciones multifamiliares.**

Las edificaciones multifamiliares presentadas muestran una amplia variabilidad en varias características estructurales clave, lo que contribuye a su incumplimiento con la norma E030 del Perú, que regula la resistencia sísmica. La variabilidad en el área, que oscila entre 26 m<sup>2</sup> y 118.6 m<sup>2</sup>, y en el peso, que varía de 95.7 toneladas a 454.0 toneladas, indica diferencias significativas en la distribución de masas y fuerzas inerciales, afectando la respuesta sísmica de las estructuras. Además, las alturas del primer piso (2.5 m a 4.4 m) y de los pisos superiores (2.4 m a 3.4 m) afectan la rigidez lateral de las edificaciones, donde una mayor altura puede aumentar el periodo de vibración y comprometer el desempeño sísmico. La variabilidad en el periodo de vibración, que varía entre 0.5 s y 2.6 s, sugiere que las edificaciones no están diseñadas uniformemente para cumplir con los criterios sísmicos, ya que periodos fuera del rango óptimo pueden amplificar las fuerzas sísmicas. Asimismo, las diferencias en la configuración de ejes estructurales, con

variaciones en el número de ejes en las direcciones X (2 a 9) y Y (2 a 7), pueden llevar a concentraciones de esfuerzo y puntos débiles, comprometiendo la integridad estructural.

**Tabla 9**

*Caracterización estructural de las edificaciones con licencia aprobada, Variables continuas*

ITEM	Área (m <sup>2</sup> )	Altura 1 Piso	Altura Pisos Superiores	Peso EDIF	T	Ejes X	Ejes Y
1	82.00	2.52	2.52	311.51	0.99	2.00	6.00
2	65.00	2.98	2.63	271.89	0.82	3.00	5.00
3	62.37	3.00	2.70	150.00	0.82	2.00	3.00
4	66.33	3.70	2.70	228.99	1.14	2.00	5.00
5	109.00	3.50	2.60	434.29	0.92	9.00	2.00
6	89.63	2.80	2.60	206.74	0.62	3.00	4.00
7	70.02	3.20	2.80	218.81	2.56	2.00	5.00
8	48.45	2.80	2.60	180.57	0.54	3.00	5.00
9	103.07	3.10	3.40	339.93	0.50	4.00	3.00
10	110.22	3.24	2.70	454.01	0.82	3.00	6.00
11	98.55	3.24	2.70	432.26	0.92	3.00	6.00
12	60.40	3.80	2.40	209.90	0.63	2.00	5.00
13	59.96	3.30	2.80	235.87	0.94	2.00	7.00
14	52.84	4.16	2.70	257.45	0.89	3.00	3.00
15	93.53	3.20	2.90	269.18	0.60	4.00	4.00
16	26.00	3.20	2.70	95.65	0.53	2.00	3.00
17	30.00	4.40	2.80	186.73	1.16	2.00	4.00
18	55.66	3.00	2.60	192.80	0.49	3.00	4.00
19	34.21	3.44	2.70	138.44	0.57	4.00	2.00
20	118.62	3.10	2.70	420.33	0.65	3.00	5.00
<b>Promedio</b>	71.8	3.3	2.7	261.8	0.9	3.1	4.4
<b>Min</b>	26.0	2.5	2.4	95.7	0.5	2.0	2.0
<b>Max</b>	118.6	4.4	3.4	454.0	2.6	9.0	7.0
<b>SD</b>	27.6	0.5	0.2	105.4	0.5	1.6	1.4

Por otro lado, las variables como el número de pisos de las edificaciones en estudio predominan las edificaciones de tres niveles con azotea con un 40% y seguidamente las de cuatro niveles con 35%, indicando configuraciones de alturas

similares que afectan la rigidez y el comportamiento dinámico de la estructura. Dentro de los tipos de suelo el predominante es el S2 con el 65% y el S3 con 30%, esto se podría deber a la cercanía que existe con una fuente hídrica natural la cual tiene mucha influencia en los suelos, pero además esto sugeriría que estos suelos pueden amplificar las ondas sísmicas de diferentes maneras. Los desplazamientos más comunes son traslacionales en la dirección X (50%), traslacionales en la dirección Y (20%) y rotacionales (30%), indicando movimientos laterales y torsionales que son críticos para el diseño sismorresistente. Las irregularidades más frecuentes son "Torsión; Diafragma" (40%) y "Diafragma" (30%), que pueden causar concentraciones de esfuerzo y fallas locales durante un sismo.

**Tabla 10**

*Caracterización estructural de las edificaciones con licencia aprobada, Variables discretas*

<b>VARIABLES</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Frecuencia Acumulada</b>
<b>n=</b>	<b>20</b>		
<b>Número de Pisos</b>			
3 pisos	5	25	25
3 pisos + Azotea	8	40	65
4 pisos	7	35	100
<b>Tipo de Suelo</b>			
S1	1	5	5
S2	13	65	70
S3	6	30	100
<b>Desplazamiento</b>			
Traslacional X	10	50	50
Traslacional Y	4	20	70
Rotacional	6	30	100
<b>Irregularidad</b>			
Ninguno	3	15	15
Diafragma	6	30	45
Torsión	2	10	55
Torsión; Diafragma	8	40	95
Esquina Entrante; Diafragma	1	5	100

#### 4.3.2. Evaluación de cumplimiento de las distorsiones admisibles de entre piso de las edificaciones multifamiliares

Las edificaciones multifamiliares presentadas muestran un incumplimiento con la norma E030 del Perú debido a su variabilidad en características estructurales cruciales. La mayoría de las edificaciones se encuentran en suelos S2 (65%), con periodos de vibración que varían entre 0.49 s y 2.561 s, lo que sugiere que muchas pueden no estar diseñadas para evitar la resonancia con las frecuencias sísmicas esperadas, aumentando el riesgo de daños estructurales. Además, la configuración de ejes estructurales varía considerablemente, lo que puede afectar la rigidez y la capacidad de transferencia de cargas. Las derivas observadas en varias edificaciones, especialmente en el ítem 7 con derivas de 0.3891 en X y 0.6258 en Y, superan significativamente el límite máximo permitido por la norma de 0.007, indicando una flexibilidad estructural inadecuada que puede resultar en grandes desplazamientos laterales y posibles colapsos parciales o totales durante un sismo. Estas discrepancias resaltan la necesidad de realizar evaluaciones y ajustes específicos en el diseño estructural para cumplir con la norma E030 y asegurar la seguridad y estabilidad de estas edificaciones.

**Tabla 11**

*Distorsión de entre piso de las edificaciones con licencia aprobada*

ITEM	Tipo de Suelo	Periodo de vibración	Ejes X	Ejes Y	Deriva X	Deriva Y
1	S3	0.993	2	6	0.0649	0.0290
2	S2	0.816	3	5	0.0110	0.0147
3	S2	0.824	2	3	0.0231	0.0113
4	S2	1.138	2	5	0.0266	0.0261
5	S1	0.923	9	2	0.0752	0.0134
6	S2	0.618	3	4	0.0146	0.0152
7	S2	2.561	2	5	0.3891	0.6258
8	S2	0.543	3	5	0.0103	0.0161
9	S2	0.5	4	3	0.0264	0.0231
10	S2	0.815	3	6	0.0116	0.0120
11	S3	0.922	3	6	0.0172	0.0257
12	S3	0.634	2	5	0.0273	0.0359

<b>ITEM</b>	<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Periodo de vibración</b>	<b>Ejes X</b>	<b>Ejes Y</b>	<b>Deriva X</b>	<b>Deriva Y</b>
13	S2	0.941	2	7	0.0202	0.0032
14	S3	0.892	3	3	0.0281	0.0133
15	S3	0.604	4	4	0.0131	0.0054
16	S3	0.533	2	3	0.0086	<b>0.0062</b>
17	S2	1.161	2	4	0.0217	<b>0.0064</b>
18	S2	0.49	3	4	0.0097	<b>0.0040</b>
19	S2	0.571	4	2	0.0074	0.0113
20	S2	0.646	3	5	0.0146	<b>0.0060</b>
<b>SEGÚN E030</b>					<b>0.007</b>	<b>0.007</b>

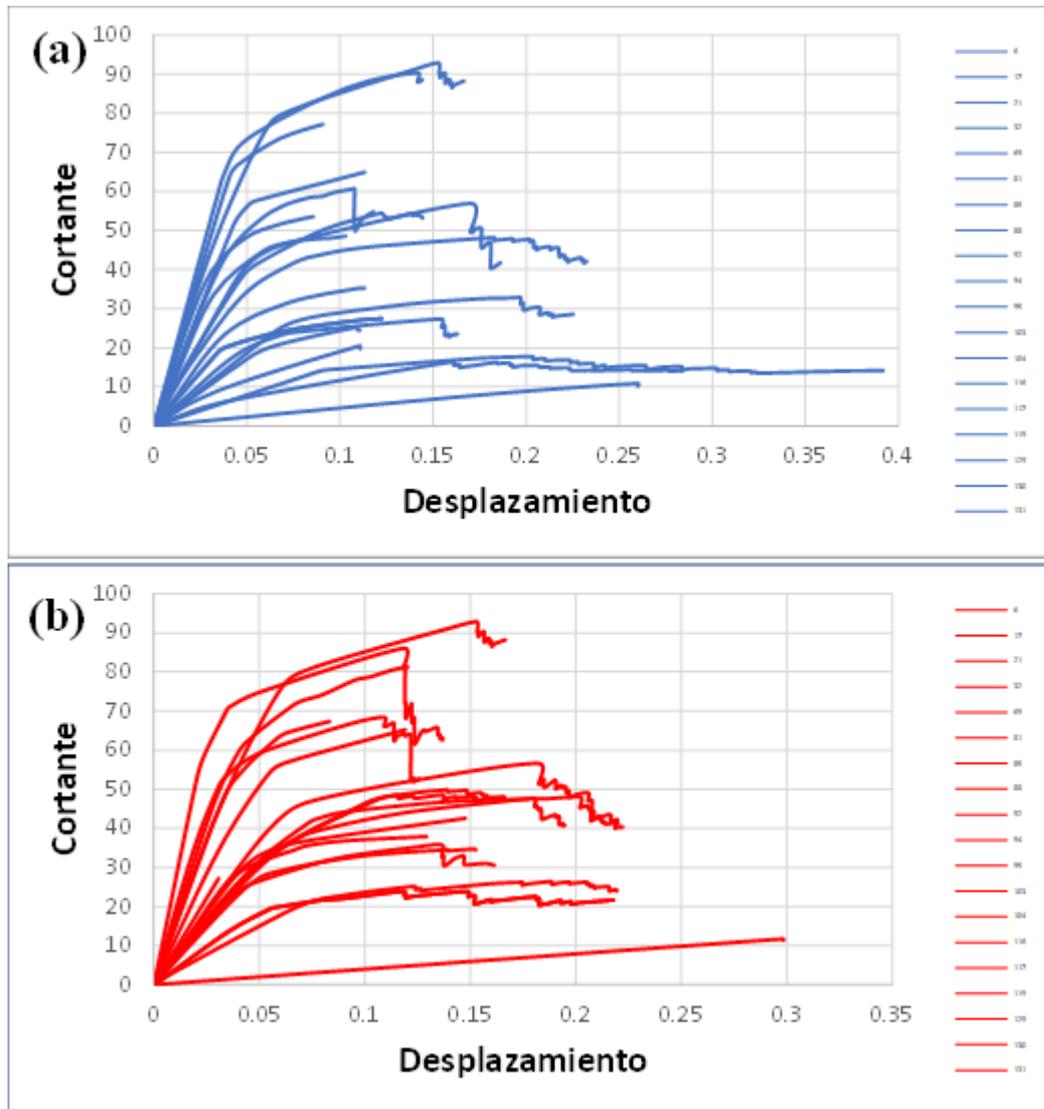
#### **4.3.3. Desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares.**

En la figura 19 se observa las curvas de capacidad de las 20 edificaciones en (a) son en dirección X y poseen una ductilidad que se encuentra dentro de 1.54 a 6.98, y en (b) es la dirección Y, el rango de ductilidad para este eje es de 0 a 5.6. Por otra parte, el punto de cedencia promedio de todas las estructuras en ambos ejes es de 48.36 mm y el punto ultimo está en 139.85 mm. En ambos gráficos, la curva comienza en el origen y se eleva a medida que la fuerza cortante y el desplazamiento aumentan, lo que indica que la estructura está resistiendo la carga. A medida que las curvas se aplanan, muestran que la estructura está alcanzando su capacidad máxima de resistencia.

En algunos casos, las curvas descienden después de alcanzar un pico, lo que indica que la estructura ha pasado su punto máximo de resistencia y ha comenzado a colapsar. Este comportamiento de descenso sugiere que la estructura ya no puede soportar cargas adicionales y está experimentando una falla progresiva.

**Figura 19**

*Curvas de capacidad de las edificaciones con licencia aprobada (a) Dirección X, y (b) Dirección Y*



En la tabla 12 se observa el nivel de desempeño de las edificaciones a diferentes demandas sísmicas, donde se puede visualizar que el 55% y 40% de las edificaciones se encuentran en seguridad de vida en la dirección X y Y respectivamente para un sismo frecuente. Mientras que para el mismo sismo un 30% se las edificaciones se encontrarían colapsadas. Por otra parte, para un sismo ocasional el desempeño de las edificaciones un 25% (dirección X) y 35% (dirección

Y) se encontrarían en seguridad de vida y casi el 50% colapsarían. Para el sismo raro el 5% se encontraría en seguridad de vida en dirección X y el 15% en precolapso en dirección Y, donde un promedio del 90% se encontraría en colapso, siendo este sismo el considerado en el diseño de las edificaciones.

**Tabla 12**

*Tabla de frecuencias del punto de desempeño y demanda sísmica de las edificaciones con licencia aprobada*

VARIABLES	DIRECCIÓN X			DIRECCIÓN Y		
	Cantida d	Frecuenci a	Frecuencia Acumulad a	Cantida d	Frecuenci a	Frecuencia Acumulad a
n=	20					
<b>Frecuente</b>						
Totalmente Operativo	0	0	0	0	0	0
Operativo	2	10	10	3	15	15
Seguridad de Vida	11	55	65	8	40	55
Pre Colapso	1	5	70	3	15	70
Colapso	6	30	100	6	30	100
<b>Ocasional</b>						
Totalmente Operativo	0	0	0	0	0	0
Operativo	1	5	5	2	10	10
Seguridad de Vida	5	25	30	7	35	45
Pre Colapso	4	20	50	2	10	55
Colapso	10	50	100	9	45	100
<b>Raro</b>						
Totalmente Operativo	0	0	0	0	0	0
Operativo	0	0	0	0	0	0
Seguridad de Vida	1	5	5	0	0	0
Pre Colapso	0	0	5	3	15	15
Colapso	19	95	100	17	85	100
<b>Muy Raro</b>						
Totalmente Operativo	0	0	0	0	0	0
Operativo	0	0	0	0	0	0
Seguridad de Vida	0	0	0	0	0	0
Pre Colapso	0	0	0	0	0	0
Colapso	20	100	100	20	100	100

La tabla 13 muestra el desempeño sísmico de 20 edificaciones en diferentes tipos de suelo y en ambos ejes (X e Y), según cuatro niveles de severidad sísmica, los cuales son: sismo frecuente, ocasional, raro y muy raro. Los tipos de suelo incluyen S1 (más rígido), S2 (intermedio) y S3 (más flexible). En el eje X, bajo condiciones sísmicas frecuentes, la mayoría de las estructuras en suelos S2 y S3 alcanzan niveles de "Seguridad de Vida" o peor, con muchas llegando al "Colapso", mientras que las estructuras en suelo S1 tienen mejor desempeño, con una manteniéndose "Operativa". En condiciones ocasionales, más estructuras en suelos S2 y S3 colapsan, con sólo una en S1 permaneciendo "Operativa". Bajo eventos raros, casi todas las estructuras colapsan independientemente del tipo de suelo, y bajo eventos muy raros, todas las estructuras colapsan. En el eje Y, los patrones son similares: muchas estructuras en suelos S2 y S3 alcanzan "Seguridad de Vida" o peor en condiciones frecuentes, pero algunas se mantienen "Operativas". En condiciones ocasionales, más estructuras caen a "Colapso" con pocas excepciones en "Seguridad de Vida". Bajo condiciones raras, la mayoría colapsan, con algunas en S1 permaneciendo en "Pre Colapso". En eventos muy raros, todas las estructuras colapsan, similar al eje X. Comparando ambos ejes, el desempeño en el eje Y es ligeramente mejor bajo condiciones menos severas, pero se deteriora igualmente en condiciones severas. VISION 2000, menciona que los niveles de desempeño se clasifican en "Totalmente Operativo", "Operativo", "Seguridad de Vida", "Pre Colapso" y "Colapso". La mayoría de las edificaciones, especialmente en suelos S2 y S3, presentan un desempeño deficiente bajo eventos sísmicos frecuentes y ocasionales, alcanzando niveles de "Seguridad de Vida" o peor. Bajo eventos raros y muy raros, casi todas colapsan, indicando la necesidad urgente de mejorar el diseño sísmico y la resistencia estructural de las edificaciones en estos suelos para cumplir con los estándares de desempeño esperados según la VISION 2000. Las estructuras en suelo S1 presentan un mejor desempeño, pero aún requieren mejoras.

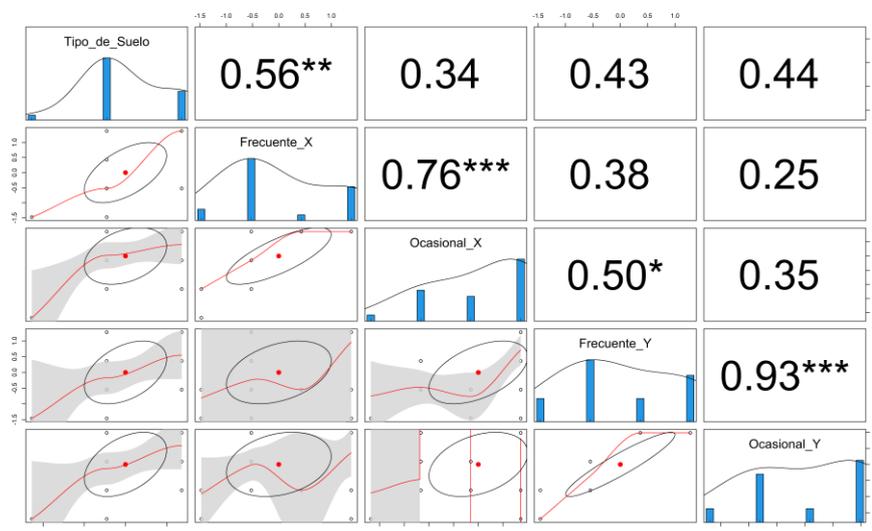
**Tabla 13***Desempeño de las edificaciones según el tipo de suelo y la demanda sísmica en ambas direcciones*

<b>ITE M</b>	<b>Tipo de Suelo</b>	<b>Ejes X</b>	<b>Ejes Y</b>	<b>Frecuente X</b>	<b>Ocasional X</b>	<b>Raro X</b>	<b>Muy Raro X</b>	<b>Frecuente Y</b>	<b>Ocasional Y</b>	<b>Raro Y</b>	<b>Muy Raro Y</b>
1	S3	2	6	Colapso	Colapso	Colapso	Colaps o	Colapso	Colapso	Colapso	Colaps o
2	S2	3	5	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso	Colaps o	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colaps o
3	S2	2	3	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Colaps o	Colapso	Colapso	Colapso	Colaps o
4	S2	2	5	Colapso	Colapso	Colapso	Colaps o	Colapso	Colapso	Colapso	Colaps o
5	S1	9	2	Operativo	Operativo	Seguridad de Vida	Colaps o	Operativo	Operativo	Pre Colapso	Colaps o
6	S2	3	4	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colaps o	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso	Colaps o
7	S2	2	5	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Colaps o	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Colaps o
8	S2	3	5	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Colaps o	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colaps o
9	S2	4	3	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colaps o	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colaps o
10	S2	3	6	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Colaps o	Colapso	Colapso	Colapso	Colaps o
11	S3	3	6	Colapso	Colapso	Colapso	Colaps o	Colapso	Colapso	Colapso	Colaps o
12	S3	2	5	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso	Colaps o	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso	Colaps o

13	S2	2	7	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Operativa	Operativo	Pre Colapso	Colapso
14	S3	3	3	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso
15	S3	4	4	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso
16	S3	2	3	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Colapso
17	S2	2	4	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Colapso
18	S2	3	4	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Operativo	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso
19	S2	4	2	Operativo	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso
20	S2	3	5	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso
Nivel de Desempeño según VISION 2000 (SEAOC,1995)				Totalmente Operativo	Operativo	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Totalmente Operativo	Operativo	Seguridad de Vida	Pre Colapso

#### 4.4. PRUEBA ESTADÍSTICA

- En la figura 20 de correlación nos muestra relaciones significativas entre el tipo de suelo y el desempeño sísmico de las estructuras en diferentes condiciones de sismo y direcciones. Una correlación positiva de 0.56 entre el tipo de suelo y el desempeño frecuente en el eje X indica que el tipo de suelo tiene un impacto considerable en el comportamiento de la estructura durante sismos frecuentes en esa dirección. La relación con el desempeño ocasional en el eje X es menor (0.34), pero sigue siendo relevante. Además, hay una alta correlación de 0.76 entre el desempeño frecuente en los ejes X y Y, lo que sugiere que las estructuras que funcionan bien en una dirección bajo sismos frecuentes tienden a hacerlo también en la otra dirección. Esto destaca la importancia de un diseño estructural equilibrado. La relación extremadamente alta de 0.93 entre el desempeño frecuente y ocasional en el eje Y sugiere que la respuesta de la estructura en esa dirección es consistente, sin importar la severidad del sismo. También hay una correlación moderada de 0.50 entre el desempeño ocasional en el eje X y el desempeño frecuente en el eje Y, lo que indica una interrelación en el comportamiento estructural bajo diferentes niveles de severidad sísmica entre ambas direcciones. En resumen, estas correlaciones subrayan la importancia de considerar las características del suelo y de diseñar estructuras que sean robustas y equilibradas en ambas direcciones para mejorar su desempeño sísmico general.

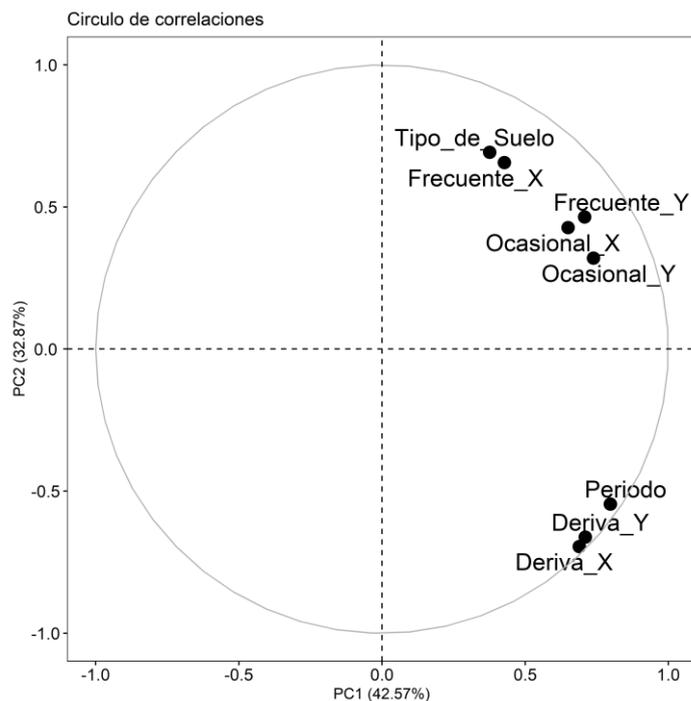
**Figura 20***Correlación entre variables*

La figura 21 de correlaciones del Análisis de Componentes Principales (PCA) muestra cómo las variables agrupadas de los resultados de 20 edificaciones con diferentes tipos de suelos y demandas sísmicas (Tipo\_de\_Suelo, Frecuente\_X, Frecuente\_Y, Ocasional\_X, Ocasional\_Y, Periodo, Deriva\_X, Deriva\_Y) se relacionan con el primer y segundo componente principal (PC1 y PC2), que explican conjuntamente el 75.44% de la variabilidad total de los datos (42.57% por PC1 y 32.87% por PC2). El primer componente principal (PC1) parece estar dominado por variables relacionadas con el tipo de suelo y las demandas sísmicas, ya que estas variables están agrupadas cerca del borde del círculo y en una dirección similar, sugiriendo que PC1 captura principalmente las variaciones asociadas con las características del suelo y las demandas sísmicas, indicando que tanto las demandas frecuentes como las ocasionales están fuertemente correlacionadas con este componente. El segundo componente principal (PC2), aunque explica menos variabilidad, parece estar influenciado por variables relacionadas con el periodo de vibración y la deriva de la estructura en ambas direcciones, que están ubicadas en una dirección ligeramente diferente, sugiriendo que PC2 captura variaciones adicionales específicas a estas características. En resumen, PC1 explica la

variabilidad principal relacionada con el tipo de suelo y las demandas sísmicas (frecuentes y ocasionales), mientras que PC2 añade una dimensión adicional que refleja variaciones en el periodo y la deriva sísmica.

### Figura 21

*Circulo de correlaciones según componentes principales*



## 4.5. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

La investigación es de nivel descriptiva por lo cual no tiene valores de p valor, siendo esto requisito para poder aceptar la hipótesis alterna y rechazar la nula.

## 4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.6.1. Categorización estructural de las edificaciones multifamiliares.

Las edificaciones multifamiliares tipo pórticos analizadas presentan una notable variabilidad en características estructurales clave que afectan su desempeño sísmico y su cumplimiento con la norma E030 del Perú. Esta variabilidad incluye diferencias en el área (26 m<sup>2</sup> a 118.6 m<sup>2</sup>), peso (95.7 toneladas a 454.0 toneladas), altura de pisos (primer piso entre 2.5 m y 4.4 m, pisos superiores entre 2.4 m y 3.4 m) y periodo de vibración (0.5 s a 2.6 s), lo cual afecta significativamente la rigidez

lateral y la distribución de masas y fuerzas inerciales, aspectos críticos en la respuesta sísmica de los pórticos (Bozorgnia y Bertero, 2004; Chopra, 2014). La ubicación predominante de estas edificaciones en suelos S2 y S3, conocidos por amplificar las ondas sísmicas, agrava este problema al incrementar los desplazamientos laterales y torsionales durante un sismo (Bozorgnia y Bertero, 2004; Tena-Colunga, 2013). Estudios previos, como los realizados por Asgarian y Shokrgozar (2009) y Nickelson (2022), han subrayado la importancia de controlar los desplazamientos laterales y rotacionales para evitar concentraciones de esfuerzo y puntos débiles, aspectos esenciales en el diseño sismorresistente. Además, las irregularidades estructurales frecuentes, como la torsión y los diafragmas, pueden llevar a respuestas sísmicas impredecibles y amplificadas, comprometiendo la integridad estructural (Bozorgnia y Bertero, 2004). Finalmente, el amplio rango de periodos de vibración observado sugiere que muchas edificaciones no están optimizadas para evitar la resonancia con las frecuencias sísmicas esperadas, aumentando el riesgo de daños estructurales (Chopra, 2014). Estos hallazgos subrayan la necesidad urgente de evaluaciones detalladas y ajustes específicos en el diseño estructural, incluyendo técnicas de retrofitting adecuadas para mejorar la resistencia sísmica y cumplir con la normativa, asegurando así la seguridad y estabilidad de las edificaciones multifamiliares (Pampanin y Akguzel, 2011; SzilvÁgyi *et al.*, 2015).

#### **4.6.2. Grado de cumplimiento de las distorsiones admisibles de entre piso de las edificaciones multifamiliares**

El análisis de las edificaciones multifamiliares aprobadas por los profesionales de la Municipalidad Provincial de Puno revela que las derivas estructurales observadas superan significativamente el límite de 0.007 permitido por la norma E030 del Perú, lo que indica un riesgo considerable de colapso parcial o total durante un sismo (FEMA 356, 2000). Especialmente preocupante es el caso del ítem 7, con derivas de 0.3891 en la dirección X y 0.6258 en la dirección Y. Estas derivas excesivas reflejan una flexibilidad estructural inadecuada que puede resultar en grandes desplazamientos laterales. Estos resultados son consistentes con los

hallazgos de Duarte et al. (2017), quienes concluyeron que mantener las deformaciones dentro de los límites permitidos es esencial para la seguridad de los ocupantes. Las derivas están influenciadas por otros factores, como el tipo de suelo (con un 65% de las edificaciones en suelos S2, que amplifican las ondas sísmicas) y los periodos de vibración, que varían ampliamente entre 0.49 s y 2.561 s, aumentando el riesgo de resonancia sísmica (Seed *et al.*, 1976; Kramer, 1996; Chopra, 2012). La literatura existente, incluyendo trabajos de Pampanin y Akguzel (2011) y SzilvÁgyi *et al.* (2015), resalta la importancia de adherirse a los **límites de deriva** para garantizar la seguridad estructural durante eventos sísmicos. La variabilidad en la configuración de los **ejes estructurales también afecta la rigidez** y la distribución de cargas, exacerbando los problemas de deriva (Paulay y Priestley, 1992).

#### **4.6.3. Desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares.**

El análisis del desempeño sísmico de las edificaciones aprobadas en Puno revela deficiencias estructurales que podrían poner en peligro su integridad durante eventos sísmicos. Según Chopra (2012), la variabilidad en la ductilidad de las estructuras, evidenciada en las curvas de capacidad observadas, sugiere una respuesta desigual ante cargas sísmicas, lo que aumenta la probabilidad de colapso en algunas edificaciones. Además, Paulay y Priestley (1992) señalan que el punto de cedencia y último indican que muchas estructuras alcanzan su límite de resistencia bajo cargas sísmicas, lo que aumenta el riesgo de falla progresiva. Estudios como los de Paredes *et al.* (2018) y Lara *et al.* (2021) indican que el comportamiento de descenso en las curvas de capacidad después del pico sugiere que las estructuras han pasado su punto máximo de resistencia y han comenzado a colapsar, resultando en daños catastróficos.

Además, el análisis del desempeño a diferentes niveles de sismo, según los hallazgos de ATC-40 (1996), muestra que una proporción significativa de las edificaciones se encuentra en riesgo de colapso, especialmente en suelos más flexibles como se observa en los suelos S2 y S3. Esta variabilidad en el desempeño sísmico según el tipo de suelo está respaldada por los estudios de Seed *et al.* (1976)

y Kramer (1996), que señalan que los suelos más flexibles tienden a amplificar las ondas sísmicas, aumentando la demanda estructural y disminuyendo la capacidad de las edificaciones para resistir cargas sísmicas.

Además, el círculo de correlación revela relaciones significativas entre el tipo de suelo y el desempeño sísmico de las estructuras en diversas condiciones sísmicas y direcciones. Una correlación positiva de 0.56 entre el tipo de suelo y el desempeño frecuente en el eje X indica que el tipo de suelo tiene un impacto considerable en el comportamiento de la estructura durante sismos frecuentes en esa dirección, coincidiendo con estudios que demuestran cómo los suelos blandos amplifican las ondas sísmicas, afectando el desempeño estructural (Bozorgnia y Bertero, 2004; Tena-Colunga, 2013). La menor correlación de 0.34 con el desempeño ocasional en el eje X sugiere que, aunque el impacto sigue siendo relevante, la influencia del suelo disminuye bajo condiciones sísmicas menos frecuentes, lo que puede relacionarse con la mayor capacidad de los edificios para absorber deformaciones a niveles más altos de demanda sísmica (Chopra, 2014). La alta correlación de 0.76 entre el desempeño frecuente en los ejes X y Y sugiere que las estructuras que funcionan bien en una dirección tienden a hacerlo también en la otra, subrayando la importancia de un diseño estructural equilibrado (SzilvÁgyi *et al.* 2015). La correlación extremadamente alta de 0.93 entre el desempeño frecuente y ocasional en el eje Y indica una respuesta estructural consistente en esa dirección, independientemente de la severidad del sismo, reflejando posiblemente la homogeneidad en el diseño de los elementos estructurales a lo largo del eje Y (Singh *et al.* 2023). La correlación moderada de 0.50 entre el desempeño ocasional en el eje X y el desempeño frecuente en el eje Y sugiere una interrelación en el comportamiento estructural bajo diferentes niveles de severidad sísmica entre ambas direcciones, indicando que mejoras en una dirección pueden beneficiar también a la otra (Asgarian y Shokrgozar, 2009).

La tesis de Pinedo y Taipei (2021) respalda estos hallazgos, mostrando que las edificaciones con una alta correlación entre los ejes X e Y tienden a tener un mejor desempeño sísmico general. Además, se destaca la importancia de un diseño

estructural equilibrado y consistente para mejorar la resistencia sísmica de las edificaciones.

El Análisis de Componentes Principales (PCA) muestra que las variables Tipo\_de\_Suelo, Frecuente\_X, Frecuente\_Y, Ocasional\_X, Ocasional\_Y, Periodo, Deriva\_X y Deriva\_Y se agrupan en el componente principal uno y dos (PC1 y PC2), que explican conjuntamente el 75.44% de la variabilidad total de los datos (42.57% por PC1 y 32.87% por PC2). PC1 está dominado por variables relacionadas con el tipo de suelo y las demandas sísmicas, sugiriendo que este componente captura principalmente las variaciones asociadas a estas características (SzilvÁgyi *et al.*, 2015) . Esto indica que tanto las demandas frecuentes como las ocasionales están fuertemente correlacionadas con el tipo de suelo, lo cual es consistente con estudios que demuestran la importancia del suelo en la respuesta sísmica (Bozorgnia y Bertero, 2004). Por otro lado, PC2, aunque explica menos variabilidad, parece influenciado por variables relacionadas con el periodo de vibración y la deriva de la estructura, sugiriendo que captura variaciones específicas a estas características (Chopra, 2014). Este análisis subraya la necesidad de considerar tanto el tipo de suelo como las características dinámicas de las estructuras para un diseño sísmico efectivo y balanceado.

## CONCLUSIONES

- La evaluación del desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en Puno en 2022 revela importantes deficiencias estructurales, especialmente en suelos de tipo S2 y S3, donde la variabilidad en las características estructurales y los diseños desequilibrados comprometen la rigidez lateral y la resistencia sísmica. Todas las edificaciones superan los límites normativos de derivas entre pisos, lo que aumenta el riesgo de colapso durante sismos, con un 30% de las estructuras colapsando en sismos frecuentes. Aunque las edificaciones en suelos S1 tienen un mejor desempeño, se requiere mejorar el diseño y aplicar medidas de retrofitting, especialmente en suelos más vulnerables, para garantizar la seguridad estructural y cumplir con la norma E030 del Perú.
- En la categorización estructural de las edificaciones con licencia aprobada, La amplia variabilidad cuantitativa en características clave como el área (26 m<sup>2</sup> - 118.6 m<sup>2</sup>), peso (95.7 toneladas - 454.0 toneladas), alturas de pisos (2.5 m - 4.4 m en el primer piso, 2.4 m - 3.4 m en pisos superiores), períodos de vibración (0.5 s - 2.6 s), número de ejes estructurales en direcciones X (2 - 9) y Y (2 - 7), junto con la distribución por número de pisos (40% de tres niveles con azotea, 35% de cuatro niveles), y tipos de suelo predominantes (65% S2, 30% S3), impacta directamente en la rigidez lateral y la distribución de fuerzas inerciales de las edificaciones con licencia aprobada. Esta variabilidad, especialmente notoria en suelos S2 y S3, se traduce en un diseño estructural desequilibrado y ajustes inadecuados, lo que compromete la resistencia sísmica y el cumplimiento normativo según la norma E030 del Perú.
- En cuanto al grado de cumplimiento de las distorsiones admisibles de entrepiso, las derivas estructurales que superan los límites normativos, como resultado identificamos que el 100% de las edificaciones incumplen con lo antes mencionado, especialmente en la edificación 7 donde se observaron derivas de 0.3891 en la dirección X y 0.6258 en la dirección Y. lo que sugiere que posee una flexibilidad inadecuada influenciada por el tipo de suelo y la configuración

de los ejes estructurales. Estas condiciones propician un mayor riesgo de colapso durante sismos, destacando la necesidad urgente de implementar medidas de retrofitting y mejoras en la resistencia sísmica para garantizar la seguridad estructural.

- El análisis del desempeño sísmico de las edificaciones revela una amplia variabilidad en la ductilidad estructural, con valores que oscilan entre 1.54 y 6.98 en dirección X y de 0 a 5.6 en dirección Y. Además, se encontró que el punto de cedencia promedio es de 48.36 mm y el punto último alcanza los 139.85 mm. Sin embargo, los resultados críticos muestran que un preocupante 30% de las edificaciones se encontrarían colapsadas bajo sismos frecuentes, mientras que casi la mitad colapsarían bajo sismos ocasionales. Comparativamente, las estructuras en suelos S1 presentan un mejor desempeño, aunque aún requieren mejoras. Estas deficiencias estructurales subrayan la necesidad crítica de un diseño equilibrado y eficaz, especialmente en suelos S2 y S3, para cumplir con los estándares de desempeño esperados y garantizar la seguridad estructural en condiciones sísmicas.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda a la Municipalidad de Puno verificar los diseños estructurales y exigir especialistas para evitar problemas futuros. A los propietarios, se les sugiere realizar evaluaciones estructurales y aplicar retrofitting para mejorar la resistencia sísmica. Además, se insta a las autoridades a fortalecer los controles, promover la capacitación de profesionales y apoyar la investigación de tecnologías para mejorar la seguridad en zonas sísmicas.
- Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Puno encargada de autorizar la construcción de viviendas a revisar detenidamente los diseños estructurales de los proyectos, Además de que los propietarios deben asegurar la contratación de especialistas en el área para el diseño para no presentar problemas futuros.
- Se aconseja a los propietarios de las edificaciones con licencia aprobada en Puno y otras zonas sísmicas del país que se considere la realización de evaluaciones estructurales con el fin de identificar las deficiencias estructurales como la presencia de derivas en sus estructuras y desarrollar planes de retrofitting para mejorar la resistencia sísmica de las edificaciones.
- Se insta a las autoridades gubernamentales, como el Municipio Provincial de Puno, el Colegio de Ingenieros y el Ministerio de Vivienda, a fortalecer los controles y regulaciones relacionados con el diseño y la construcción de edificaciones en zonas sísmicas. Es fundamental que se exija un diseño estructural equilibrado y seguro, que considere cuidadosamente las características dinámicas del suelo y de las estructuras. Asimismo, se recomienda establecer políticas y programas de capacitación para los profesionales involucrados en la elaboración de diseños estructurales, con el fin de garantizar que cuenten con los conocimientos y habilidades necesarios para desarrollar proyectos sísmicamente resistentes. Además, se sugiere promover la investigación y el desarrollo de tecnologías innovadoras para mejorar la resistencia y seguridad estructural de las edificaciones en zonas de riesgo sísmico, con el objetivo de mitigar los riesgos asociados a eventos sísmicos.

## REFERENCIAS

- Acharjee, D. (2023). Stability analysis of tilted multi-storeyed RCC buildings over alluvial soil: A non-linear static approach. *Materials Today: Proceedings*, *xxxx*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.627>
- Ahmed, H. A., Shahzada, K., & Fahad, M. (2021). Performance-based seismic assessment of capacity enhancement of building infrastructure and its cost-benefit evaluation. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *61*(September 2020), 102341. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102341>
- Ainul, H. R., Sohaib, A. M., & Ashour, S. (2014). Application of Pushover Analysis for Evaluating Seismic Performance of RC Building. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, *3*(1), 1–6. [www.ijert.org](http://www.ijert.org)
- American Society of Civil Engineers. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356)*.
- Applied Technology Council. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings (ATC 40)*.
- Aroquipa, H., & Hurtado, A. I. (2022a). Incremental seismic retrofitting for essential facilities using performance objectives: A case study of the 780-PRE school buildings in Peru. *Journal of Building Engineering*, *62*(September), 105387. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105387>
- Aroquipa, H., & Hurtado, A. I. (2022b). Incremental seismic retrofitting for essential facilities using performance objectives: A case study of the 780-PRE school buildings in Peru. *Journal of Building Engineering*, *62*(September), 105387. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.105387>
- ASCE. (2014). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. In *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. <https://doi.org/10.1061/9780784412855>
- ASCE, A. S. of C. E. (2017). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. In *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. <https://doi.org/10.1061/9780784414859>
- Asgarian, B., & Shokrgozar, H. R. (2009). BRBF response modification factor. *Journal of Constructional Steel Research*, *65*(2), 290–298. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2008.08.002>
- Bozorgnia, Y., & Bertero, V. V. (2004). *EARTHQUAKE ENGINEERING From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering*.

- Briceño Meléndez, C. P. (2016). *Diagnóstico estructural y análisis sísmico de la iglesia San Pedro Apóstol de Andahuaylillas* [Tesis de Maestría]. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Calcina Peña, R. M. (2017). *Edificio de once pisos utilizando análisis estático y dinámico no-lineal tesis*, 120.
- Castro Minaya, M. J. (2023). *Análisis y diseño estructural de albañilería confinada de un edificio multifamiliar de 4 pisos*.
- CERSA. (2023). *Perú se ubica en la zona denominada cinturón de fuego del pacífico*. <https://cersa.org.pe/capacitaciones/?q=blog/cinturondefuego>
- Chancafe Vela, B. S., & Gonzales Coronel, C. (2021). *Evaluación del desempeño sísmico de un edificio multifamiliar de concreto armado de 8 pisos mediante un análisis Pushover, distrito de Santiago de Surco*. [Título Profesional]. Universidad Ricardo Palma.
- Chopra, A. K. (2014). *Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering* (Vol. 4).
- Chumpitaz, J. H. (2021). *Evaluación de métodos de estimación de análisis dinámico incremental a partir de análisis estático no-lineal*.
- Coronado Quintanilla, P. R., & Gomez Alejos, F. Y. (2022). *Evaluación de fallas estructurales en viviendas de albañilería confinada debido al evento sísmico 30 de julio 2021 C.P Jibito- Piura 2022*.
- Croce, P., Beconcini, M. L., Formichi, P., Cioni, P., Landi, F., Mochi, C., & Giuri, R. (2018a). Influence of mechanical parameters on non-linear static analysis of masonry buildings: A relevant case-study. *Procedia Structural Integrity*, *11*, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.043>
- Croce, P., Beconcini, M. L., Formichi, P., Cioni, P., Landi, F., Mochi, C., & Giuri, R. (2018b). Influence of mechanical parameters on non-linear static analysis of masonry buildings: A relevant case-study. *Procedia Structural Integrity*, *11*, 331–338. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.11.043>
- Diseño Sismorresistente (E 030) (2018).
- Duarte, C., Martinez, M., & Santamaria, J. (2017). *Análisis estático no lineal (pushover) del cuerpo central del edificio de la facultad de medicina de la Universidad del Salvador* [Tesis pregrado]. Universidad del Salvador.
- Delgadillo Alanya, J. E. (2005). *Análisis no lineal estático de estructuras y la norma E-030*.

- Espada Chilin, S. M., Mego Farías, A. S., Quevedo Rivera, H. F., Barreto Mauricio, R. J., & Ñaupari Diaz, A. H. (2021). Procedimiento para una evaluación estructural en una vivienda de concreto armado. *Repositorio de Tesis - PUCP*.
- Fernandez, C. (2019). Puno: al menos un 90% de casas colapsarían en esta ciudad si ocurre un terremoto. *El Comercio*, 1.
- Fuentes Alarcon, M. (2023). *Evaluación del desempeño sísmico según el análisis no lineal y posible reforzamiento estructural del conjunto habitacional Las Casuarinas, Chiclayo* [Tesis para optar título]. Universidad Católica Santo toribio de Mogrovejo.
- Fuentes Rivera Silva; Norman Fernando. (2018). *Desempeño Sísmico de un Edificio de Cinco Niveles de Concreto Armado mediante el análisis Estático no lineal "pushover"* [Tesis Título Profesional]. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Gobierno Regional de Puno (GRP). (2019). Plan de contingencias por sismo. In *Gobierno Regional Puno*.
- Halder, L., & Paul, S. (2016a). Seismic Damage Evaluation of Gravity Load Designed Low Rise RC Building Using Non-linear Static Method. *Procedia Engineering*, 144, 1373–1380. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.05.167>
- Halder, L., & Paul, S. (2016b). Seismic Damage Evaluation of Gravity Load Designed Low Rise RC Building Using Non-linear Static Method. *Procedia Engineering*, 144, 1373–1380. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.05.167>
- Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures (FEMA 440), 1 (2005).
- Jaramillo Rivera, R., & Riveros Pedraza, C. E. (2011). *Análisis no lineal dinámico tridimensional de edificios en concreto reforzado sometidos a los registros del sismo de quetame (2008)*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Kuroiwa, J. (2016). Manual para la reducción de riesgos sísmicos de viviendas en el Perú. *Ministerio De Vivienda, Construcción Y Saneamiento*, 112.
- Manual de Procedimientos MAPRO, MPP 189 (2012).
- Morejón-Blanco, G., Leyva-Chang, K., & Arco-Medina, B. R. (2017). Evaluación de la Seguridad Estructural de Edificaciones Posterremos. *Ciencia En Su PC*, 4, 78–90.

- Morici, M., Gioiella, L., Micozzi, F., Zona, A., Dudine, A., Grassia, S., Passerino, C. R., Ciotti, S., Falò, L., Liberatore, D., Sorrentino, L., Buffarini, G., & Clemente, P. (2022). Push 'o ver: in situ pushover tests on as built and strengthened existing brickwork constructions. *Procedia Structural Integrity*, 44(2022), 830–837. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2023.01.108>
- Muñoz. (2018). Comentarios a La Norma E.030 Diseño Sismorresistente. *Sencico*, 59.
- Nickelson, W. (2022). *Behavior of carbon fiber reinforced polymer jacket retrofitted reinforced concrete bridge columns in cascadia subduction zone earthquakes*.
- Ottazzi Pasino, G. (2006). Diseño en Concreto Armado. In *ACI Perú* (Vol. 1).
- Pampanin, S., & Akguzel, U. (2011). Performance-based seismic retrofit of existing reinforced concrete frame buildings using fibre-reinforced polymers: Challenges and solutions. *Structural Engineering International: Journal of the International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE)*, 21(3), 260–270. <https://doi.org/10.2749/101686611X13049248220041>
- Peñaloza Condori, R. R. (2021). *Análisis estático Incremental para Estimar el Desempeño Sísmico de la "Institución Educativa G.U.E. San Carlos" Puno* [Tesis de Maestría]. Universidad Privada de Tacna.
- Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356), 1 (2000).
- Presidencia del consejo de ministros (PCM). (2019). *PRINCIPALES MODIFICACIONES AL PROCEDIMIENTO LICENCIAS DE EDIFICACIÓN GUÍA PARA GOBIERNOS LOCALES*. [www.pcm.gob.pe](http://www.pcm.gob.pe)
- RNE. (2014). E 020- Cargas. *El peruano*, 21.
- RNE. (2018a). E 030 - Diseño Sismorresistente. *El peruano*, 36.
- RNE. (2018b). E 030 - Diseño Sismorresistente. *El peruano*, 36. <file:///C:/Users/User/OneDrive/Documents/Stocks urbanos/Paper Stocks/Normas Peruanas/Diseño sismorresistente/RM-355-2018-VIVIENDA.pdf>
- Rubell, M. (2002). Aspectos generales del riesgo sísmico. *Tesis Doctoral En Xarxa*, 2, 8–35.
- San Bartolomé, Á., & Quiun, D. (2010). Diseño sísmico de Edificaciones de Albañilería confinada. *Revista CIENCIA*, 13(2), 163–187.

- Shahsahebi, A., Waezi, Z., & Hashemi, M. J. (2020). Seismic performance assessment of multi-story RC buildings with soft-story collapse mechanism equipped with gapped inclined bracing (GIB). *Structures*, 28(November), 2448–2466. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.10.068>
- Silva Segura, R. A., & Apaza Bocanegra, C. D. (2020). *Análisis estructural sísmico de una edificación existente ubicada en Lima Metropolitana que no cumple el control de derivas y propuesta de reforzamiento con acero estructural*. <http://hdl.handle.net/10757/654490>
- Singh, H., Tiwary, A. K., Thakur, S., & Thakur, G. (2023). Performance evaluation of high-rise reinforced concrete buildings under dynamic loading considering different structural systems. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.251>
- SzilvÁgyi, Z., Ray, R. P., SzilvÁgyi, Z., & Ray, R. P. (2015). *Proceedings of the XVI ECSMGE Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development*. <https://doi.org/10.1680/ecsmge.60678>
- Tavera, P. (2008). *Zonificación Sísmica y Aceleraciones Máximas Esperadas en 100, 150, 200 y 500 años Para el Tramo de la Carretera Puno-Ilave (km 1363+ 000–km 1413+)*. 0–21.
- Tena-Colunga, A. (2013). Seismic Design of Base-Isolated Buildings in Mexico. Part 1: Guidelines of a Model Code. *The Open Civil Engineering Journal*, 7(1), 17–31. <https://doi.org/10.2174/1874149501307010017>
- Terán Gilmore, A. (2007). *Evaluación Estructural Basada en Desplazamientos*. c, 1–40.
- Ugalde, D., Lopez-Garcia, D., & Parra, P. F. (2019, April). Análisis del desempeño sísmico de un edificio de muros de hormigón sin daño utilizando análisis no lineal. *XII Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica ACHISINA 2019*.
- Veliz Velasquez, J. F., & Obregon Martinez, V. E. (2019). *Mejoramiento del proceso administrativo en licencias de edificación para mitigar las consecuencias de vulnerabilidad en viviendas informales en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, 2019* [Título Profesional]. Universidad Privada de Tacna.
- Vertel Hernández, R. F. (2021). *Evaluación del comportamiento inelástico de un edificio de 5 pisos en diferentes zonas de amenaza Sísmica Según la NSR-10* [Maestría]. Universidad Tecnológica de Bolívar.
- Villarreal Castro, G. (2009). *Análisis Estructural*.

Vivienda, M. de. (2006). Reglamento Nacional de edificaciones. *Sencico*, 1–439.

## APÉNDICE

### APÉNDICE 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>2.2.1 Problema general</b> ¿Cuál es el desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada con diversos tipos de suelos en el 2022, Puno?</p> <p><b>2.2.2 Problemas específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es la categorización estructural que poseen las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en el 2022 en los diferentes tipos de suelo, Puno?</li> <li>• ¿Cuál es el grado de cumplimiento de las distorsiones admisibles de entre piso de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en el 2022 en comparación con la norma peruana?</li> <li>• ¿Cuál es el desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en el 2022 según el tipo de suelo, Puno?</li> </ul>	<p><b>3.1 Objetivo General</b> Evaluar el desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada con diversos tipos de suelos en el 2022, Puno.</p> <p><b>3.2 Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar la categorización estructural de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en el 2022 en los diferentes tipos de suelos, Puno.</li> <li>• Determinar el grado de cumplimiento de las distorsiones admisibles de entre piso de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en el 2022 en comparación con la norma peruana de diseño sismo resistente, Puno.</li> <li>• Determinar el desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en el 2022 según el tipo de suelo, Puno.</li> </ul>	<p><b>5.1.1 Hipótesis general</b> El desempeño sísmico de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada tendrá un impacto significativo según el tipo de suelo en la que se diseñó, Puno.</p> <p><b>5.1.2 Hipótesis específicas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las edificaciones con licencia aprobada tienen un sistema aporticado en todos los tipos de suelos.</li> <li>• Las distorsiones admisibles de entre piso de las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada en el 2022 no cumplen con los límites establecidos por norma peruana de diseño sismo resistente.</li> <li>• Las edificaciones multifamiliares con licencia aprobada presentan mayor daño en los suelos blandos en relación con los demás tipos.</li> </ul>	<p><b>5.2.1 Identificación de la variable independiente</b> Tipos de suelo</p> <p><b>5.2.1.1 Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfiles de suelo</li> <li>• Velocidad de Corte</li> <li>• Factor de Suelo</li> <li>• Periodos de suelo</li> </ul> <p><b>5.2.1.2 Escala para la medición de la variable</b> Tipos de perfil de suelo</p> <p><b>5.2.2 Identificación de la variable dependiente</b> Comportamiento sísmico de edificaciones</p> <p><b>5.2.2.1 Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Características de la edificación</li> <li>• Configuración estructural</li> <li>• Desplazamientos laterales relativos</li> <li>• Diagrama de momento curvatura</li> <li>• Capacidad estructural</li> <li>• Nivel de daño</li> </ul> <p><b>5.2.2.2 Escala para la medición de la variable</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\Delta_i / h_{ei}</math></li> <li>• Niveles de desempeño de la edificación (ATC-40)</li> </ul>	<p><b>Tipo de Investigación</b> La presente investigación es de tipo cuantitativa, debido a que se determinará el cumplimiento de las estructuras mediante los desplazamientos relativos de entre piso.</p> <p><b>Nivel de Investigación</b> Este estudio es de nivel descriptivo y explicativo</p> <p><b>Diseño de Investigación</b> El diseño es no experimental de forma transversal ya que solo se evaluará en el año 2022.</p> <p><b>Ámbito y tiempo social de la investigación</b> La presente investigación se realizará en el distrito, provincia y departamento de Puno.</p> <p><b>Población y muestra</b> 115 edificaciones en modalidad B aprobadas principalmente por el personal municipal. Por otra parte, la muestra se determinó el tipo de muestra probabilística aplicando una fórmula y se aplicó criterios de exclusión para escoger los tipos de perfiles de suelo. Siendo 20 edificaciones en número de muestras.</p> <p><b>Técnicas de recolección de los datos</b> Las técnicas utilizadas para cada objetivo son: observación y la revisión de los planos estructurales aprobados de las edificaciones</p> <p><b>Instrumentos para la recolección de los datos</b> Para el primer objetivo y el segundo objetivo se utilizarán una lista de chequeo para identificar el sistema estructural predominante y los parámetros sísmicos de las ubicaciones de cada edificación y Para el tercer objetivo se utilizará una lista de chequeo para determinar el Desempeño sísmico</p>

**APÉNDICE 2.** Matriz de datos recolectados

IT E M	N° Licencia	Area (m <sup>2</sup> )	N° Pisos	Altura 1 Piso	Altura Pisos Superiores	Tipo de Suelo	Ejes X	Ejes Y	T	Desplazamiento	Peso EDIF	Irregularidad	Deriva X	Deriva Y	Frecuente X	Ocasional X	Raro X	Muy Raro X	Frecuente Y	Ocasional Y	Raro Y	Muy Raro Y
1	06	82	4P	2.52	2.52	S3	2	6	0.993	ROTACIONAL	311.5069	Torsión ; Diafragma	0.064881	0.028973	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso
2	17	65	4P	2.975	2.625	S2	3	5	0.816	TRASLACIONAL Y	271.8855	Torsión	0.010986	0.014695	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso
3	21	62.37	3P + A	3	2.7	S2	2	3	0.824	TRASLACIONAL X	150.0045	Diafragma	0.023097	0.011343	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso
4	32	66.33	3P + A	3.7	2.7	S2	2	5	1.138	TRASLACIONAL X	228.9923	Diafragma	0.026642	0.026085	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso
5	69	109	4P	3.5	2.6	S1	9	2	0.923	TRASLACIONAL Y	434.2886	Diafragma	0.07524	0.013363	Operativo	Operativo	Seguridad de Vida	Colapso	Operativo	Operativo	Pre Colapso	Colapso

6	81	89.63	3P	2.8	2.6	S2	3	4	0.618	TRASLACIONAL X	206.7393	Ninguna	0.014587	0.015198	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso	Colapso
7	85	70.02	3P + A	3.2	2.8	S2	2	5	2.561	ROTACIONAL	218.8111	Esquina Entrante; Diafragma	0.389091	0.625764	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Colapso	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Colapso
8	88	48.45	3P + A	2.8	2.6	S2	3	5	0.543	ROTACIONAL	180.5683	Torsión	0.010346	0.016122	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso
9	92	103.07	3P + A	3.1	3.4	S2	4	3	0.5	TRASLACIONAL X	339.9286	Ninguna	0.026376	0.023089	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso
10	94	110.22	4P	3.24	2.7	S2	3	6	0.815	ROTACIONAL	454.0143	Ninguna	0.011591	0.012043	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso
11	95	98.55	4P	3.24	2.7	S3	3	6	0.922	TRASLACIONAL Y	432.2598	Diafragma	0.017178	0.025728	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso
12	103	60.4	3P + A	3.8	2.4	S3	2	5	0.634	TRASLACIONAL Y	209.9048	Diafragma	0.027294	0.035875	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso	Colapso

13	104	59.96	3P	3.3	2.8	S2	2	7	0.941	ROTACIONAL	235.8686	Torsión ; Diafragma	0.020236	0.00317	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Operativa	Operativo	Pre Colapso	Colapso
14	116	52.84	4P	4.16	2.7	S3	3	3	0.892	TRASLACIONAL X	257.4546	Torsión ; Diafragma	0.028114	0.013327	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso
15	117	93.53	3P	3.2	2.9	S3	4	4	0.604	TRASLACIONAL X	269.1831	Torsión ; Diafragma	0.013059	0.005421	Colapso	Colapso	Colapso	Colapso	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso
16	119	26	3P	3.2	2.7	S3	2	3	0.533	TRASLACIONAL X	95.6543	Diafragma	0.008557	0.006178	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Colapso
17	129	30	4P	4.4	2.8	S2	2	4	1.161	TRASLACIONAL X	186.7251	Torsión ; Diafragma	0.021689	0.00644	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Colapso
18	130	55.66	3P	3	2.6	S2	3	4	0.49	TRASLACIONAL X	192.7991	Torsión ; Diafragma	0.009653	0.003962	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Operativo	Seguridad de Vida	Pre Colapso	Colapso
19	131	34.21	3P + A	3.44	2.7	S2	4	2	0.571	ROTACIONAL	138.4419	Torsión ; Diafragma	0.007416	0.01132	Operativo	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso	Seguridad de Vida	Seguridad de Vida	Colapso	Colapso
20	140	118.62	3P + A	3.1	2.7	S2	3	5	0.646	TRASLACIONAL X	420.3251	Torsión ;	0.014631	0.006023	Seguridad	Pre Colapso	Colapso	Colapso	Seguridad	Seguridad	Colapso	Colapso

