

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

## “ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR, TRUJILLO, LA LIBERTAD - 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

Freyder Eli Carbajal Navez  
Edgar Michael Lecca Gamboa

**Asesor:**

Mg. Ing. Gonzalo Hugo Díaz García  
<https://orcid.org/0000-0002-3441-8005>

Trujillo - Perú

**2023**

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	Dra. Ing. <u>Sheyla</u> Yuliana Cornejo Rodríguez	41639360
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Ing. <u>Eduar</u> Rodríguez Beltrán	18213588
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Ing. German Sagastegui Vásquez	45373822
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### TESIS CARBAJALO

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>5%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.upn.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>es.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorioacademico.upc.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad de Huanuco</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.ug.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	

## DEDICATORIA

A Dios, por habernos dado la vida,  
permitirnos lograr día a día cada una de  
mis metas, en nuestra formación  
personal y profesional.

A nuestros PADRES, Por su amor  
incondicional, sus consejos, su disciplina y  
todo sacrificio que realizaron para forjarme  
y lograr nuestra formación. Los amo y  
agradezco al Señor por sus vidas.

A todos nuestros AMIGOS de la  
Universidad, por el apoyo que nos  
mostraron en todo momento durante y  
fuera de la universidad, gracias por su  
amistad y muestras de cariño.

## AGRADECIMIENTO

Mediante esta investigación queremos mostrar nuestro más sincero agradecimiento a la UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE, FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL y a los docentes que con sus enseñanzas han sido parte de nuestro desarrollo profesional y ético que son implantando en nosotros en las aulas gracias a sus conocimientos, lo cual será vital para desarrollarnos como profesionales en nuestra sociedad.

Realizar un agradecimiento en especial a nuestro asesor durante esta investigación, el Ing. Gonzalo Hugo Díaz García, un gran profesional y persona, que de forma desinteresada nos brindó su apoyo para poder elaborar y finalizar nuestra investigación, logrando así nuestra meta final.

Un agradecimiento para esos amigos que paso momentos que marcaron nuestras vidas durante nuestra etapa de estudiantes, que nos ayudó a formarnos como grandes profesionales, aquellos con los que tratamos cada día y ven nuestro desarrollo desde el primer hasta el último día, en ese proceso se encuentran verdaderos amigos, que se vuelven parte de nuestra familia y siempre serán parte importante de nuestras vidas. A todos los que fueron parte de este proceso van nuestros agradecimientos.

## TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDOS	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ECUACIONES	10
RESUMEN	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
<b>1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA</b>	<b>12</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>31</b>
<b>1.3. OBJETIVOS</b>	<b>32</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	32
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	32
<b>1.4. HIPÓTESIS</b>	<b>32</b>
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	33
CAPÍTULO III: RESULTADOS	40
3.1.1 Predimensionamiento de losa aligerada: .....	43
3.1.2 Predimensionamiento de Viga:.....	43
3.1.3 Predimensionamiento de Columna.....	44
3.1.4 Predimensionamiento de Muros Estructurales: .....	46
3.2 PERIODO FUNDAMENTAL: .....	48
3.3 DETERMINANDO EL ESPECTRO DE RESPUESTA:.....	53
3.4 DETERMINANDO EL ANÁLISIS LINEAL Y PUSHOVER:.....	58
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	66

DISCUSIÓN	66
LIMITACIONES	68
IMPLICANCIAS	69
CONCLUSIONES	69
REFERENCIAS	71
ANEXOS	74

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> <i>Operacionalización de la variable dependiente</i> .....	35
<b>Tabla 2:</b> <i>Propiedades mecánicas de los materiales</i> .....	38
<b>Tabla 3:</b> <i>Análisis de cargas empleadas</i> .....	38
<b>Tabla 4:</b> <i>Sección y disposición de acero de los muros estructurales</i> .....	43
<b>Tabla 5:</b> <i>Periodo fundamental en translación X</i> .....	44
<b>Tabla 6:</b> <i>Periodo fundamental en translación Y</i> .....	45
<b>Tabla 7:</b> <i>Modos de vibración de la estructura</i> .....	47
<b>Tabla 8:</b> <i>Cargas modales participativas globales</i> .....	48
<b>Tabla 9:</b> <i>Desplazamientos y Distorsiones de Entrepiso requeridos por el Reglamento</i> <i>E030-2018</i> .....	51
<b>Tabla 10:</b> <i>Desplazamientos y Distorsiones de Entrepiso requeridos por el Reglamento</i> <i>E030-2018 en Y</i> .....	51
<b>Tabla 11:</b> <i>Base Shear vs Monitored Displacement</i> .....	57
<b>Tabla 12:</b> <i>FEMA 440 Equivalent Linearization</i> .....	58



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> <i>Esquema del procedimiento para determinar la curva de capacidad</i> .....	24
<b>Figura 2:</b> <i>Esquema del procedimiento para determinar la curva de capacidad</i> .....	27
<b>Figura 3:</b> <i>Diseño de investigación</i> .....	30
<b>Figura 4:</b> <i>Plano de distribución del edificio multifamiliar</i> .....	36
<b>Figura 5:</b> <i>Modelamiento e ingreso de datos al software computacional</i> .....	37
<b>Figura 6 y 7:</b> <i>Determinación del espectro de respuesta e ingreso de datos al software computacional</i> .....	48-49
<b>Figura 8:</b> <i>Se representa el espectro de respuesta para los dos ejes de análisis</i> .....	50
<b>Figura 9:</b> <i>Desplazamientos y Distorsiones de Entrepiso requeridos por el Reglamento E030-2019</i> .....	52
<b>Figura 10:</b> <i>Cálculo de la distribución de la cortante en la base en el edificio multifamiliar</i> ..	53
<b>Figura 11:</b> <i>Curva pushover – Análisis estático no lineal</i> .....	54
<b>Figura 12:</b> <i>Espectro de Capacidad – Demanda</i> .....	55
<b>Figura 13:</b> <i>Curva de Capacidad ASCE 41-13</i> .....	59
<b>Figura 14:</b> <i>Elevación del modelamiento estructural</i> .....	68
<b>Figura 15:</b> <i>Elevación del modelamiento estructural lateral</i> .....	69
<b>Figura 16:</b> <i>Planta del modelamiento estructural</i> .....	70

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1:</b> <i>cálculo del espesor de losa aligerada</i> .....	39
<b>Ecuación 2:</b> <i>Cálculo de la sección transversal de viga</i> .....	39
<b>Ecuación 3:</b> <i>Cálculo de la sección transversal de columnas</i> .....	41
<b>Ecuación 4:</b> <i>Periodo fundamental-método de Rayleigh</i> .....	45

## RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo realizar el análisis y verificación de los principales elementos estructurales de un edificio de vivienda multifamiliar de concreto armado de 4 plantas, ubicado en la Mz Q, Lote 14 – Urb. Villa el Contador, Distrito de Trujillo, Provincia de Trujillo, Departamento de La Libertad.

Esta investigación es de tipo aplicada, con un diseño de investigación no experimental, considerando una población por conveniencia, y por la opinión de un profesional experto. El resultado que se obtuvo fue un desplazamiento inelástico máximo en el paso 20 con un cortante 328.55 tn. Según el espectro de Capacidad – Demanda, tiene un periodo 0.444 seg., Ratio de ductilidad 3.074763, y con el Punto de la Curva de Capacidad 0.11312m, 428.110325Tonf. Punto de desempeño: 0.02988m y Shear :197.1523Tonf. con una conclusión: El método Rayleigh, el espectro de respuesta del sistema Dual y el desplazamiento inelástico máximo cumplen con la normativa sismorresistente y FEMA 440, excepto el porcentaje de la fuerza sísmica no cumple con el valor admisible.

**PALABRAS CLAVES:** Pushover, Punto de desempeño, curva de capacidad, multifamiliar.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA

Diariamente ocurren terremotos por todo el mundo, que origina la destrucción del patrimonio (viviendas, carreteras, etc.) y la pérdida de millones de seres humanos. La litosfera, la capa exterior de la Tierra, libera la energía que ha acumulado por oscilaciones agresivas del suelo. Este tipo de fenómeno se extiende mediante ondas a través del suelo, ocasionando perjuicios tanto directos como indirectos en las zonas habitadas. La extensión de los perjuicios está determinada por distintos factores, como pueden ser la ubicación del epicentro, los tipos de falla que se pueden encontrar, sus propiedades geológicas del suelo, etc. Como se sabe el Perú se encuentra localizado en una zona sísmica, debido a esto es de suma importancia ampliar la literatura sobre la ingeniería antisísmica para poder afrontar esta problemática a corto, mediano y largo plazo. (Arbuck, E. & Lutgens, F., 2001).

El planteamiento de la investigación gira en torno al concepto de "Diseño por Desempeño", el cual es un instrumento que sirve de apoyo a la ingeniería sísmica con el fin de prever cómo se comportarán los edificios frente a los movimientos sísmicos. La importancia primordial del diseño basado en el rendimiento se encuentra en su capacidad para ofrecer a los diseñadores una evaluación precisa del nivel de respuesta que se anticipa a una estructura tras un sismo. En otras palabras, permite anticipar y comprender cómo se comportará un edificio en términos de su integridad y capacidad de resistencia ante un evento sísmico.

A consecuencia de nuevas investigaciones respecto al desempeño dentro del campo de la ingeniería estructural, se origina una nueva demanda para los ingenieros estructurales ya que deben ir dejando de lado procedimientos clásicos como el diseño lineal. El objetivo es realizar una aproximación respecto al comportamiento de la estructura frente a las cargas que estará sometida, incluso más allá del punto de fallo.

La capacidad de una estructura para experimentar deformación no lineal desde su inicio hasta el fallo se define como su ductilidad. En otras palabras, se busca comprender cómo una estructura puede deformarse y adaptarse ante situaciones de carga extremas, permitiendo así una mayor seguridad y resistencia ante eventos sísmicos u otras condiciones adversas. (Calcina, R., 2017).

Además, los avances informáticos, la creación de nuevos softwares especializados han simplificado la labor de los ingenieros civiles, permitiendo la utilización de metodología con un análisis más profundo que van más allá del análisis estático y agregan el estudio para un análisis dinámico de la estructura. La finalidad de esta metodología es aumentar la exactitud de los datos generados por el cálculo estructural. Se pueden encontrar investigaciones como el Análisis Dinámico Incremental (IDA), fue elaborado en 2002 por Vamvatsikos y Cornell. Donde indican que este método se puede aprovechar para calcular la respuesta dinámica no lineal de una vivienda mientras que el nivel de intensidad sísmica va en crecimiento. Busca que el comportamiento de la estructura generado por la influencia del sismo sea descrito por acelerogramas, los cuales deberán ser escalados en función de la amplitud de las aceleraciones y deberá ser incrementada de forma gradual para determinar la respuesta sísmica de la estructura para cada nivel. Esta metodología es utilizada por la Federal Emergency Management Agency (FEMA 450, 2003) que busca determinar cuál es idoneidad global de la estructura ante el colapso. En resumen, estos avances en la informática y los métodos de análisis han permitido un mayor rigor en el cálculo estructural y han facilitado la evaluación de la respuesta sísmica para las estructuras.

El software ETABS es usado para realizar modelamientos matemáticos para conocer el comportamiento real de la edificación, el programa utilizada elementos finitos para obtener sus resultados. Aun así, se debe tener en cuenta que los datos

obtenidos no pueden reemplazar el criterio que deberá tener el ingeniero para poder evaluar correctamente dichos resultados. La presente tesis, se realizará la evaluación del desempeño sismorresistente de una edificación de concreto armado de 4 pisos. Donde mediante la metodología “pushover” y el análisis dinámico incremental (IDA) se hallará la curva de capacidad de la edificación. Luego se realizará una comparación entre el espectro de respuesta del sismo y la curva de capacidad con el fin objetivo de estimar el comportamiento de la estructura para estos niveles de intensidad sísmica.

Es importante destacar que esta tesis se basa en información recopilada de distintas fuentes confiables, como son artículos, libros, publicaciones verificadas, los códigos FEMA 356 y 440, y la normativa vigente en el país la cual es el RNE (Reglamento Nacional de edificaciones) El objetivo final de la tesis es fomentar la comprensión de la comunidad de ingeniería sobre la importancia del diseño por desempeño, que permitan exponer la situación actual de una estructura y poder adquirir su curva de capacidad y el punto de desempeño que le corresponda a la edificación. (Calcina, R., 2017).

La finalidad de esta investigación es comprobar la viabilidad de utilizar un análisis dinámico no lineal y un estático no lineal para lograr mejorar el diseño estructural de la edificación ante un escenario sísmico. Se plantea esta investigación ya que actualmente, no existen procedimiento que amplíen sus investigaciones respecto al diseño estructural utilizando este tipo de análisis estático y dinámico no lineal al momento de realizar una evaluación de la estructura. Por lo tanto, se pretende explorar cómo estos métodos de análisis no lineales pueden contribuir a maximizar el comportamiento y seguridad que tengan las edificaciones ante eventos sísmicos, teniendo en cuenta las características específicas del concreto armado.

### 1.1.1 ANTECEDENTES

Durante las décadas de 1940 y 1950, gracias a las primeras investigaciones se logra entender de mejor forma el comportamiento dinámico de una estructura, relacionada con su periodo de vibración. Por los años 1960 la ductilidad solo era considerada para detallar la reacción de los materiales. Sin embargo, con el pasar de los años se comenzó a estudiar a la estructura de forma global, considerando incluso una relación entre la resistencia y rigidez estructural.

Para la siguiente investigación para el diseño de la edificación se utilizó varillas de acero corrugado y el concreto convencional. Para el caso del primero se consideró un acero de grado 60, cuyas especificaciones indican una resistencia a la fluencia ( $f_y$ ) de 4200 Kg/cm<sup>2</sup>. Pero debemos tener en cuenta que este material cuenta con una baja capacidad para resistir cargas antes que el material falle. De esto podemos concluir que el edificio puede enfrentar dificultades ante un sismo de alta intensidad, debido a que los elementos estructurales colapsarían o incluso podría darse un colapso total de la edificación. (Bonett, D., 2003).

Durante casi 70 años, se ha cometido frecuentemente el error de considerar que los conceptos de resistencia y seguridad hacen referencia a aquellos códigos que estandarizan los cálculos para el diseño sismorresistente. Sin embargo, en los últimos 25 años aproximadamente, esta idea ha ido cambiando gradualmente debido a que distintas investigaciones han descubierto que aumentar la resistencia global de la estructura no es garantía de su seguridad, tampoco reduce el daño causado por el fenómeno telúrico.

Este planteamiento se basa en los principios del diseño por capacidad, que fueron introducidos por Park y Paulay en Nueva Zelanda en 1975. Estos principios cuestionan la idea de que simplemente aumentar la resistencia de una estructura es suficiente para asegurar su seguridad. En cambio, se enfocan en evaluar y diseñar la resistencia de la estructural para deformarse de manera controlada y absorber la energía sísmica, evitando así daños catastróficos. Ahora se busca centrarse más en la capacidad de una estructura para afrontar correctamente ante ondas sísmicas a diferencia de solo priorizar una resistencia absoluta.

En la actualidad, se ha ampliado la filosofía del diseño sísmico incorporando aspectos económicos de gran relevancia. Esto implica considerar no solo la seguridad estructural, sino también la continuidad operativa de las instalaciones y proteger los elementos que no cumplen una función estructural, según el uso y la importancia de cada estructura. Esta filosofía, conocida como "Diseño por Desempeño" (Performance Based Design), ha sido formalmente presentada en 1995 en el documento VISION 2000. Se busca dejar atrás las evaluaciones tradicionales para conocer la resistencia de una estructura ante un sismo, y enfocarse en el rendimiento deseado de la misma en términos de funcionalidad y seguridad. Esto implica considerar aspectos económicos y la importancia de salvaguardar los elementos que no tienen influencia en el comportamiento estructural de la edificación, para garantizar la continuidad de las actividades en caso de un evento sísmico. En resumen, el Diseño por Desempeño busca una visión más integral y amplia del diseño sísmico, teniendo en cuenta la funcionalidad, la continuidad operativa y la protección de los elementos no estructurales, además de la seguridad estructural.



La de investigación de (Vergara y Zevallos, 2014) tuvo como objetivo estudiar una edificación de 6 pisos localizada en la ciudad de Trujillo, departamento de la Libertad, y realizar su análisis sísmico utilizando el desempeño sísmico no lineal. Los resultados principales analizados en la dirección "x" del sismo mostraron pseudo aceleraciones, las cuales se compararon con las normas E-030 del 2006 y 2016. Se determinó que el factor de zonificación tiene una influencia directa en el análisis, lo que implica exigencias adicionales para realizar el diseño del edificio. Principalmente se concluyó que el edificio desarrollo diferencias significativas para los parámetros sísmicos cuando se realizó la comparación con las normativas mencionadas anteriormente (E-030 2003 Y 2016). Por lo cual esto afecta de forma notoria la resistencia de la estructura, lo que resalta la importancia de establecer normas de calidad en comparación con un diseño clásico. Las conclusiones han brindado información suficiente para realizar una evaluación del centro comercial, en relación con la capacidad estructural mediante modelamientos matemáticos que simularon las ondas sísmicas que se vieron sometidas las edificaciones para los eventos sísmicos que ocurrieron en el año 1966, 1970 y 1974. Donde los resultados nos indicaron que, para un comportamiento en el rango lineal, este controla los desplazamientos relativos según lo indicado en la normativa vigentes por lo cual se concluyó que el método pushover tiene un uso aceptable.

La investigación elaborada por Torres y Zavala en 2021, que lleva como título “Influencia del efecto P-Delta y la irregularidad en masa en el comportamiento estructural de una estructura de mediana altura”, tenía como fin determinar qué relación tenían la influencia del  $P\Delta$  y la irregularidad de la masa respecto a cómo se comportara una estructural de 15 niveles. Se considero

una investigación de tipo experimental y donde se consideró la población el conjunto de edificaciones que conforman la zona donde se realizara el estudio y la muestra finalmente fue la elección de 1 de estos edificios. Para este caso el principal enfoque era mediante análisis dinámicos lineales obtener el comportamiento estructural de la edificación de mediana altura, determinando valores como cortante basal, desplazamientos y momentos, luego de estos se realizó el análisis estático no lineal “pushover”. Para lo cual se realizó una simulación numérica para poder hallar el comportamiento no lineal de dicha estructural sometida a cargas laterales que van creciendo de forma progresiva. Respecto a los momentos se pudo determinar que existió una variación del 5.60% respecto a una estructura regular cuando se relacionó con el efecto de  $P-\Delta$  en las estructuras irregulares. También se obtuvo un aumento considerable de la rigidez y como varío del caso 1 el cual considero la influencia de  $P-\Delta$ . En donde para la dirección x-x dio una variación de 73.06% y para el otro caso y-y se obtuvo hasta un 77.76%. Finalmente, la investigación concluyó que las variaciones que se originan para la cortante basal, derivas y momentos para la estructura regular y el caso 4 considerando la influencia de  $P-\Delta$  alcanzaron el 25%, lo que resulta un valor significativo que nos indica que se debe considerar una modificación total del diseño de la edificación. Debido a esto se recomendó desarrollar una nueva investigación donde se considere la irregularidad en masa y la influencia de  $P-\Delta$ .

En su trabajo de investigación, Esteba (2017) se realizó un análisis y diseño para una edificación de 7 pisos, la cual se encuentra localizada en la provincia de Puno en Perú, con dirección Jirón Primero de mayo 429. La investigación se basó en realizar un análisis y posterior diseño lineal, siguiendo los pasos establecida dos por la RNE. Además, se consideró las derivas para

cada nivel, el diseño para los elementos estructurales y las características del acero. Luego se utilizó dos métodos para realizar el análisis no lineal con el fin de estimar el comportamiento de la estructura ante sismos de alta intensidad. El primero considero el “Push-Over” el cual en otras palabras es el análisis estático no lineal para el cual se consideró las cargas a las que se encuentra sometida la estructura para determinar su comportamiento. El segundo método considero un análisis dinámico no línea, para el cual era necesario realizar una simulación de las oscilaciones sísmicas con un estado dinámico y que entregue resultados más exactos respecto al comportamiento de la edificación en especial a largo plazo. Para ambos casos es necesario contar con un alto criterio y conocimiento del software a utilizarse. Los resultados del análisis estático no lineal indican que el desempeño estructural genero una deriva de 4.46 cm, que entra dentro de la clasificación del nivel de desempeño estructural de IO (ocupación inmediata). Para el caso dinámico no lineal, se encontró una deformación de 0.001, valor que se encuentra dentro de la clasificación antes mencionada. De esto se puede concluir que los diseños realizados son muy conservadores y no reflejan correctamente la realidad. Además, se planteó reducir las dimensiones de la estructura para realizar el AENL, dando como resultado un desplazamiento en un punto de desempeño de 5.27 cm, clasificándose en un nivel de ocupación inmediata, lo cual muestra una variación del 18% respecto a una estructura inicial. Finalmente, se concluye que el análisis ni lineal si puede ser utilizado para estimar el comportamiento de una edificación, siempre y cuando se cuente con la información necesaria para conocer su trabajo antes movimientos telúricos de alta intensidad.

### **1.1.2 BASES TEÓRICAS.**

- a) **Capacidad estructural:** Es la capacidad que tiene una estructura para poder soportar la demanda sísmica, aquella que viene definida por la capacidad de deformación de los elementos estructurales y de su resistencia. Es una forma de medir que tan idónea es la estructura antes las fuerzas sísmicas sin sufrir un deterioro significativo. (Chávez, Meléndez, Sinchi & Hurtado, 2013)
- b) **Análisis lineal:** Se origina cuando se realiza un análisis de una estructura, donde sus propiedades como la rigidez y amortiguamiento se mantienen constantes y no son alteradas en el tiempo. Además, predomina el principio de superposición ya que las fuerzas que se ejercen sobre la estructura son directamente proporcionales con sus desplazamientos, esfuerzos y reacciones. (Chávez, Meléndez, Sinchi & Hurtado, 2013).
- c) **Análisis no-lineal:** Es cuando durante el análisis de una estructura, sus propiedades sufren cambios con respecto al tiempo, la deformación y la carga. Debido a que estas propiedades están en constante evolución, la reacción de la estructura no será proporcional a las fuerzas ejercidas sobre ella. A consecuencia de esto se desmerece al principio de superposición y la no linealidad geométrica. (Chávez, Meléndez, Sinchi & Hurtado, 2013).
- d) **Desempeño estructural:** Es la relación que tiene el comportamiento general de la estructura con el resguardo de la vida de los usuarios y la precaución ante daños estructurales. (Hernández, 2004).
- Simboliza al nivel que cuenta una estructura para desempeñar exitosamente los objetivos de seguridad y funcionalidad, en el transcurso y luego de un evento sísmico considerable.
- e) **Ductilidad:** Es aquella propiedad que cuentan varios materiales, donde refleja su capacidad de sufrir deformaciones cuando se le aplica una

fuerza sin romperse. Los que no cuentan con esta característica son llamados frágiles. (Ucha, F., mayo, 2013).

**f) Desempeño esperado por la edificación:** Es la forma de expresar el comportamiento óptimo o los niveles de desempeño deseado para una estructura sometida ante un sismo. Para lo cual se ha definido dictámenes y parámetros de diseño, además de evaluar el actuar del edificio con el único objetivo de priorizar la seguridad de las personas y mitigar el deterioro de la estructura durante este fenómeno. (Cahuana, R., 2015).

**g) Niveles de desempeño:** Son niveles utilizados para describir como será el comportamiento de una estructura que busca asegurar la seguridad de las personas, durante y después de que este fenómeno sísmico afecte a la estructura. Además, estarán definidos según la capacidad que tenga la estructura para poder soportar las fuerzas sísmicas y que cumpla con los criterios de seguridad normados. (Safina, S., 2003).

**h) Demanda (desplazamiento):** Es el movimiento que sufre el suelo ante un movimiento telúrico, lo cual origina modelos complejos de desplazamientos que sufre la estructura y como estas varían en función al tiempo. Esta demanda es el resultado de estimar la respuesta máxima esperada para una edificación mientras se mueve el suelo, para lo cual se deberá tener en cuenta las características del terreno en especial las propiedades que componen su estructura. (Chávez, Meléndez, Sinchi & Hurtado, 2013).

**i) Fallas estructurales por rigidez lateral:** Son fallas que se originan debido a insuficiencia de la estructura para aguantar las cargas sísmicas y afrontar los desplazamientos laterales generados. Su origen se da cuando la rigidez de la estructura no es capaz de hacer frente a los efectos sísmicos, que causaran una gran cantidad de daños importantes. (Calcina, P., 2017)

**j) Fallas estructurales por rotación de elementos:** Este tipo de fallas son causadas por las conexiones entre elementos de la estructura, como pueden ser las vigas o columnas, las cuales sufren fenómenos como la deformación plástica y producen rotaciones en su sección transversal.

La ductilidad de rotación de estos elementos mide la rotación plástica que se puede generar en este tipo de elementos estructurales, y que son aplicables del mismo modo en uniones entre miembros que componen la estructura. (Calcina, P., 2017).

### **1.1.2.1 Análisis Lineal**

Este tipo de análisis buscar estimar que el comportamiento de esfuerzo-deformación sea proporcional siguiendo la ley de Hooke, en otras palabras, solo se busca evaluar el rango elástico. Para esta técnica normalmente se usa cuando la estructura cuenta con una regularidad estructural en planta y elevación.

Para los casos donde las estructuras cuentan con una o más irregularidades, este método lineal resulta ineficiente para poder analizar la estructura, esto a raíz que es necesario un análisis más complejo para tener un resultado más cercano a la realidad.

#### **A. Análisis Estático Lineal**

Este tipo de procedimiento estático lineal que también recibe el nombre de estáticos equivalentes, este se encuentra especificado en la norma E.030 (RNE, 2006) específicamente en el apartado 4.5, el cual es utilizado para medir los desplazamientos, deformaciones unitarias, tensiones y fuerzas generadas por las cargas aplicadas.

Este análisis estático lleva a cabo las siguientes superposiciones:

**Superposición estática:** Para este caso las cargas son aplicadas lentamente y de forma gradual hasta que se logre conseguir sus magnitudes completas o en otras palabras cuando este tipo de cargas se mantengan constantes al no sufrir variación en el tiempo.

**Superposición de linealidad:** En este caso se busca establecer una relación entre las cargas a las que se encuentra sometida la estructura y su respuesta inducida de forma lineal. Por dar un ejemplo, en caso se duplicarán las cargas aplicadas a la estructura, la respuesta del modelo ante este cambio también sería duplicada (deformaciones unitarias, tensiones y desplazamientos).

Se podrá realizar este tipo de superposición siempre y cuando:

- ✓ Los materiales utilizados para el modelo cumplan con la Ley de Hooke, que nos indica que la tensión deberá ser directamente proporcional a la deformación unitaria.
- ✓ Cuando los desplazamientos generados sean tan pequeños que se pueda ignorar la variación de la rigidez originada por la carga.
- ✓ El entorno y sus características no sufrirán alteraciones debido a la aplicación de estas cargas. Estas deben ser continuas, mientras que sus magnitudes, direcciones y distribución, no deberán ser modificadas mientras se deforma el modelo.

Para realizar el Procedimiento Estático Lineal (LSP), una edificación deberá ser modelada para el caso que estuviera sometida solo a un grado de libertad y que tenga una rigidez lineal. Además, que el fenómeno telúrico sea modelado considerando una distribución de fuerzas laterales equivalentes, aquellas que se obtendrán utilizando la distribución en altura del cortante basal y para determinar las fuerzas y desplazamiento al interior de la estructura utilizando un análisis estático lineal.

## **B. Análisis Dinámico Lineal**

### **Métodos basados en el espectro de respuesta**

En casos donde se trabaje con espectros generados por registros de aceleración, que en conjunto puedan considerar la influencia para cada modo con el objetivo de conseguir un valor que sea simbólico y que refleje la respuesta de la estructura; debido a que aún falta considerar la simultaneidad los mayores obtenidos de los distintos modos de vibración, debido a esto se deberán mezclar de forma idónea.

#### **1.1.2.2 Análisis No-Lineal**

Esta metodología tal vez sea capaz de aproximarse al comportamiento de un edificio, debido a que estas representaciones son más certeras gracias a que se puede definir sistemas de falla y el posible colapso progresivo.



Actualmente en Estados Unidos y Europa se busca que los diseñadores estructurales utilicen un análisis no-lineal a causa de las nuevas provisiones sísmicas. De tal forma es necesario obtener la data adecuada de la estructura para realizar correctamente este tipo de análisis.

Este método se divide en dos facciones: Primero se realiza un análisis no lineal estático para luego realizar para un caso dinámico no lineal. Para ambas situaciones es necesario un amplio conocimiento sobre las características de los materiales a utilizar, pero priorizando aquellos que tienen una influencia directa con las propiedades relativas frente al comportamiento de la estructura ante un comportamiento de origine dinámico. (Meneses, 2006).

#### **A. Análisis Estático no-lineal**

El análisis estático no-lineal utiliza parámetros más concisos respecto a la deformación de los materiales para cuando las edificaciones se ven afectadas por cargas laterales generadas por el terremoto. El objetivo principal es poder ejecutar este análisis para poder validar el comportamiento de la estructura para un rango inelástico.

#### **Limitaciones del análisis estático no-lineal**

Las limitaciones para este tipo de análisis como el pushover es la superposición que la estructura solo vibra en el primer modo, lo cual no se refleja cuando la edificación es de gran altura, y mucho menos para edificaciones asimétricas. Aparte de esta limitación, este

tiene su base en las fuerzas estáticas lo que eventualmente no lograra pronosticar el comportamiento ante cargas cíclicas.

El análisis pushover se centra solo en energía generada por la deformación de una sola estructura, a causa de estos el método puede ignorar la energía cinética y la energía de amortiguamiento viscoso. (Nicolás Guevara, Sergio Osorio & Edgardo Vargas, 2006).

Para Bonnett Díaz (2003) el daño estructural estará en función a la deformación, de la energía generada por el sismo y por lo cual el análisis pushover deberá considerar que el deterioro estructural solo será originado por la deformación lateral de la estructura, ignorando los efectos de duración y disipación de la energía acumulada en la edificación. Por lo cual aplicar esta forma de cuantificar el daño es muy básica, en especial para estructuras no dúctiles, ya que sus cíclicos históricos inelásticos representan un gran estrechamiento y una forma errónea.

## **B. Método de análisis de colapso (Pushover)**

El análisis estático no lineal (AENL), también conocido como Pushover es un procedimiento que busca realizar una simulación numérica que se utiliza en ingeniería estructural para evaluar el comportamiento no lineal de una estructura frente a cargas laterales progresivamente crecientes. A diferencia de los análisis dinámicos lineales que consideran las propiedades elásticas de la edificación, para ciertos análisis como el no lineal tiene en cuenta la deformación y respuesta no lineal de los materiales y conexiones estructurales. Según investigaciones A. K. Chopra y R. K. Goel (Chopra y Goel, 2001), y elabora una estimación para la demanda

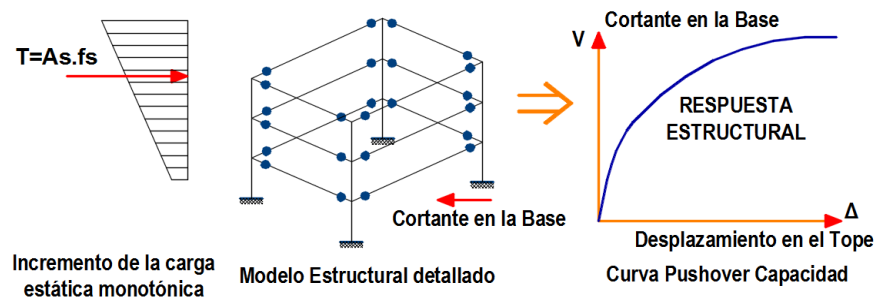
sísmica y validar el comportamiento de la estructura ante un evento telúrico de gran intensidad. Este compuesto por un de un análisis estático no-lineal. Este tipo de metodologías busca realizar una aproximación que considera la distribución de las cargas laterales equivalentes constante a cierta altitud, lo que implica que la carga lateral se aplica uniformemente en toda la estructura. Además, este análisis toma en cuenta la contribución para tipo de vibración para conocer el del comportamiento elástico de la estructura.

Mediante el análisis pushover, se puede calcular la cual será la resistencia de la edificación y obtener información detallada sobre su comportamiento no lineal. Por lo cual, este tipo de análisis consiste en evaluar una carga gravitatoria y dos por cargas laterales para ambas direcciones. De esta forma generando las curvas Pushover para mostrar la capacidad de la estructura y su comportamiento inelástico.

Este tipo de comportamiento y capacidad se verá afectado en función a los elementos estructurales. La capacidad deberá ser comparada con la demanda para los casos de estudio de estructuras existentes y basándose en esta comparación se deberá tomar una decisión para considerar un reforzamiento en la estructura.

**Figura 1**

*Esquema del Procedimiento Para Determinar la Curva de Capacidad*



Nota. Fuente: Calcina, 2017

Una de las principales ventajas de este tipo de análisis es su capacidad para detectar puntos débiles en el diseño de la estructura que no pueden ser fácilmente identificados mediante el análisis elástico lineal (Elnashai & Di Sarno, 2008). El mayor beneficio de los AENL en comparación con el análisis estático lineal es que toma en cuenta los efectos de respuesta no lineal según el material de una manera más precisa. Mientras que el análisis estático lineal utiliza aproximaciones mediante factores de desarrollo o la disminución del espectro, por esto mismo el AENL considera los comportamientos reales no lineales de los materiales y las conexiones estructurales, lo que proporciona cálculos más cercanos a la realidad (Moreno, 2006).

### **C. Análisis dinámico no-lineal**

El análisis dinámico no lineal también conocido como ADNL, el cual es la forma más “certera” de calcular el comportamiento sísmico de una estructura inelástica que se encuentra sometido a movimiento telúricos de alta intensidad. Para poder realizar un ADNL se deberá obtener la data correspondiente a

las aceleraciones de la zona de estudio ya sea de una recopilación de real, simulaciones o una mezcla de ambos casos.

#### **D. Análisis Dinámico Incremental (IDA)**

El Incremental Dynamic Analysis (IDA) es una metodología que mediante parámetros realiza un análisis que busca realizar una aproximación del desempeño estructural de una edificación o estructura bajo cargas sísmicas que van incrementado de forma progresiva. Busca realizar una serie de ADNL, donde el modelo matemático se vea sometido a uno o más registros sísmicos, para cada caso se deberá escalar a distintos de niveles de intensidad, con el fin de generar diversas curvas con parámetros que relaciones el nivel de intensidad (Vamvatsikos y Cornell, 2001).

El método más idóneo para realizar una evaluación de la capacidad estructural de una edificación y conocer su desempeño sísmico es realizando un análisis dinámico no lineal, debido a que es la forma de representar con exactitud el comportamiento real de la edificación, sin embargo, para utilizar esta metodología se debe tener en cuenta la disponibilidad de cierta data que se quiere como: Las frecuencias obtenidas, la carga de ruptura, etc. (Krawinkler & Seneviratna, 1998).

El FEMA 356 en el año 200, da como sugerencia que se deberá elaborar un índice donde se detalles el daño a la estructural que estará en función cambio que sufre la pendiente dentro de una curva IDA, solo para el caso que este resultado ser menor al 20% de dicha pendiente elástica, para considerar que la edificación a colapsado. Ya que es complicado definir el punto de colapso de la

edificación, para lo cual es necesario revisar los tipos de deformación locales para dichos puntos y para sus índices de daño que le correspondan

### **E. Diseño basado en el desempeño sísmico**

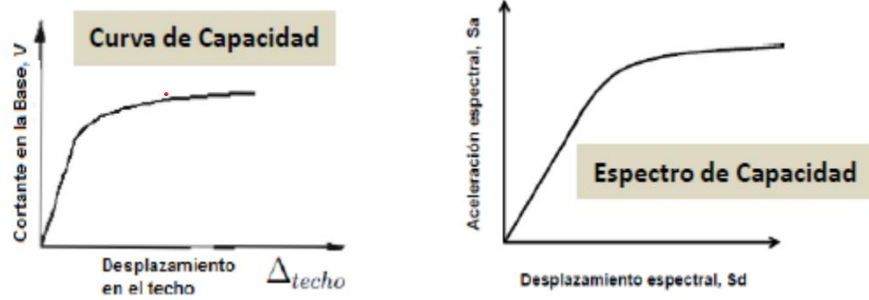
Se trata de la realizar una elección para determinados esquemas se buscan realizar un estudio que ayuden a determinar las dimensiones y caracterizar los elementos estructurales y lo que no lo son, para ciertos niveles de excitación sísmica, para tener diferentes niveles de confiabilidad, de tal forma se tengan indicadores para medir una estructura dañada para ciertos parámetros. (Bertero en SEOAC,1995).

#### **1.1.2.3 Curva de Capacidad**

Esta curva representar mediante por un gráfico el comportamiento de una edificación donde se buscar relacionar la cortante en la base y los desplazamientos para el ultimo nivel de la edificación. Este método entrega al ingeniero estructural los datos que le permitan tener una idea más clara sobre el comportamiento estructural. Donde la capacidad global de dicha edificación estará en función a su capacidad de resistir deformaciones generadas en sus elementos de forma individual como pueden ser el hormigón, acero corrugado y la mezcla de estos mismos. Además, que el fin de esta curva establecer su capacidad de fluencia y del último piso de la edificación,

#### **Figura 2**

*Esquema del Procedimiento para Determinar la Curva de Capacidad*



*Nota.* Fuente: Dr. J. M. Bairán.

Para poder determinar la capacidad que supere los límites elásticos, se deberá aplicar una metodología no-lineal. Además, el modelo de capacidad de edificio será una curva que busque idealizar el edificio a partir de puntos de control, se recomienda tomar 2 donde se verificara ciertas características de la edificación como son la capacidad de fluencia y del último nivel, esto hasta que estos puntos desarrollen su estado de fluencia, mientras que la capacidad de la edificación será asumida lineal con rigidez en base al periodo fundamental que se estimó. Los cuales se detallan a continuación:

**Capacidad de Fluencia ( $Y_c$ ):** Es la resistencia a una fuerza lateral a la cual se ve sometida una edificación, antes que esta estructura sufra un desarrollo de respuesta no-lineal.

**Capacidad Última ( $U_c$ ):** Conocida como la mayor fuerza del edificio que se genera cuando el sistema estructural en general ha logrado de forma total el estado plástico.

## 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el resultado del análisis y verificación del desempeño sísmico de un edificio multifamiliar, Trujillo, La Libertad - 2021?

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar el análisis y verificación del desempeño sísmico de un edificio multifamiliar, Trujillo, La Libertad - 2021.

#### 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar y elaborar el predimensionamiento de los elementos estructurales.
- Realizar el Análisis Estático No Lineal “Pushover” (AENL) y un Análisis Dinámico No Lineal (ADNL).
- Determinar el desplazamiento máximo (ADNL) y el punto de desempeño (AENL) que tendrá el edificio.
- Identificar las zonas vulnerables en la edificación de recibir daño sísmico.

### 1.4. HIPÓTESIS

Se sabe que la ciudad de Trujillo se encuentra en una zona sísmica alta según la norma E030 (2019), en la actualidad se tiene escasa información respecto a evaluaciones de desempeño sísmico de estructuras en edificios multifamiliares, dado que ahora es un requerimiento para la construcción de las mismas. Esto conlleva una incertidumbre en el comportamiento de las estructuras de este tipo, más aún que es la que más tiempo pasa la población y el más requerido a nivel habitacional, es por ello que es prioritario determinar el análisis y verificación del desempeño sísmico.

La normativa divide al país en cuatro zonas. Su división tiene fundamento en los escenarios sísmicos que cada una de ellas afronta, donde consideran la atenuación de cada zona con su distancia epicentral. La Normativa vigente (E.030) también nos indica que distritos y provincia conforman cada zona.

A consecuencia que la investigación se realizará en una zona que según normativa se deberá considerar de alto riesgo sísmico, aparte se deberá considerar una clasificación del suelo intermedio, es información que nos indica que se deberá realizar un diseño en conjunto



de toda la estructura por Desempeño Sísmico, por lo cual se deberá utilizar el software de apoyo conocido como ETABS.

Para realizar la evaluación de forma idónea será necesario localizar los problemas que pueda sufrir la estructural a nivel estructural, para poder corregir con anticipación antes que se generen estos inconvenientes, esto es primordial para evitar que la edificación pueda colapsar y ocasiones pérdida de vidas humanas. De esta forma se busca que los movimientos telúricos no lleguen a nivel de catástrofe y solo sean un fenómeno natural.

## **CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**

### **2.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

#### **2.1.1 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación que se realizara para elaborar este proyecto será APLICADA, se debe a que se busca implementa fundamentos del sismo resistencia para encontrar procedimientos que permitan elaborar las técnicas y herramientas que faciliten el correcto diseño y posterior desarrollo de las actividades que se deberán realizar para la investigación. (Hernández & Baptista. 2014, Metodología de la Investigación).

También se considera de tipo descriptivo, debido a que se podrá detallar las dimensiones por lo cual permitirá explicar con mayor detalle el comportamiento de esa variable, con el fin de que se entienda con mayor claridad el problema de la investigación. Por lo cual el diseño de la investigación será NO EXPERIMENTAL, debido a que las pruebas realizadas se deberán en un marco donde no se manipularán deliberadamente las variables y solo serán observadas como será su comportamiento en un contexto natural para su posterior análisis. (Hernández & Baptista. 2014, Metodología de la Investigación).

**Figura 3**

*Diseño de Investigación*



Fuente: Elaboración Propia.

## **2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **2.2.1 POBLACIÓN**

Para la investigación la población estará conformada por una edificación multifamiliar de 4 pisos.

Se sabe que la población en temas de investigación es aquel conjunto finito o infinito de elementos que cuentan con cosas en común, y que serán utilizado para obtener las conclusiones de un estudio. La cantidad estará definida por la problemática y los objetivos que se estén planteando. (Arias, 2012, p.81)

### **2.2.2 MUESTRA**

La técnica de muestreo es no probabilística ya que los elementos de la población se seleccionarán por conveniencia, y por juicio de un profesional experto por lo que no hay necesidad de calcular la muestra.

“Aquellas muestras que no son probabilísticas, o que reciben el nombre de muestras dirigida, son aquellas que para su elección es necesario

conocer las características del estudio, más por un análisis estadístico más general” (Hernández, et al., 2014, p.189).

## **2.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS**

### **2.3.1. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Se ha utilizado una técnica de recolección directa como es la observación, debido a que será necesario una evaluación La OBSERVACIÓN se considera una técnica directa de recolección de información, ya que implica profundizarse en la situación social y la participación ciudadana que vayan de la mano con una reflexión constante. Con el fin de observar distintos puntos de vistas que se pueden observar en la zona del estudio, ya sea eventos, interacción con el medio u otros factores que influyan. (Hernández & Baptista, 2014, Metodología de la Investigación).

### **2.3.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Para poder recolectar los datos respecto al análisis del comportamiento de modelo estructural de la edificación de cuatro pisos, se utilizarán dos instrumentos para recolectar dicha información como son los formatos técnicos producidos en Excel. En primer lugar, se utilizó las guías de observación, utilizada para recopilar la data obtenida de las dimensiones de los elementos de la edificación y su posterior comparación con los planos que se nos han proporcionado. De los planos que se no has brindado podemos mencionar los mas importantes como son los de arquitecturas, estructuras junto a sus especificaciones técnicas y que tipo de materiales serán utilizado para la elaboración de la edificación.

Luego de recopilar los datos con fichas de campos, se procedió a realizar el metrado de carga del edificio y el análisis estático según lo indica la E.030. Con el fin de realizar el análisis estático no lineal con el apoyo del

software ETABS. Para poder elaborar este proceso se deberá incorporar la información y datos recolectados, siguiendo las especificaciones técnicas que permitan realizar el estudio por desempeño sísmico de la estructura.

### **2.3.3. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

Los pasos que se realizaron para recolectar los datos se dividieron en dos fases, se realizó de forma preliminar a la metodología se utilizara para el diseño. La primera fase consiste en encontrar un sistema equivalente que sea de un grado de libertad que permita utilizar la curva de capacidad que se determino por el método “pushover” mediante un análisis estático no lineal (AENL). La siguiente fase busca describir la demanda sísmica, para esto se puede realizar dos formas, ya sea por un espectro de respuesta elástica o por el (ADNL) mediante un espectro de diseño inelástico.

Además, se obtuvo el desplazamiento máximo a través del "punto de desempeño", que permitirá valorar el nivel de daño que se generará en la edificación. Para esto se realizaron los siguientes pasos:

1. Se reviso los objetivos propuestos para la investigación.
2. Se verifico las variables y las dimensiones que le correspondan.
3. Se considero los factores que influyan a la población como instrumentos en la investigación.
4. Según normativa se determinó el tipo de instrumento a utilizarse.
5. Se utilizo el instrumento normado.
6. Se presentan los resultados obtenidos.
7. Posterior análisis de los resultados de la investigación.

Estas etapas permiten recopilar de manera adecuada los datos necesarios para el desarrollo del estudio y la evaluación de la estructura en cuestión.

El procedimiento básico para elaborar el análisis pushover es el siguiente:

1. Con el apoyo del programa ETABS se elaboró el modelo matemático correspondiente a la edificación a estudiar,
2. Ingresas características de los materiales según las especificaciones indicadas en los planos y data adicional.
3. Se verifico que las secciones para los elementos de la estructura sean las adecuadas, de la misma forma se verifico el acero longitudinal y transversal, guiándonos de los planos proporcionados.
4. Realizar la selección un nodo para controlar los desplazamientos. Una opción podría ser localizarlo en el último piso de la edificación, se recomienda que se encuentre ubicado en el centro de masa de la estructura.
5. Identificación de la posible localización donde se podrían generar las rotulas plásticas en los elementos estructurales.
6. Aplicación de las fuerzas laterales según el centro de masa de la edificación, se deberán tomar en cuenta las cargas generadas por gravas y se deberá aumentar progresivamente las fuerzas laterales.
7. Guardar y realizar el grafico correspondiente a la cortante basal junto al desplazamiento que sufrirá en el topo de la edificación.
8. Agregar un aumento de las cargas laterales hasta que los elementos estructurales lleguen a la fluencia.
9. Se procede a añadir los datos de cortante basa y el desplazamiento en el tope y se procede a graficarlo junto a los valores anteriormente obtenidos.
10. Realizar el mismo procedimiento (del paso 6 al 9) hasta que se obtenga el fallo de la edificación.
11. Este procedimiento de análisis pushover con lleva un proceso que busca evaluar la capacidad de respuesta y resistencia de la estructura ante fuerzas laterales sísmicas, permitiendo una mejor comprensión de su comportamiento bajo diferentes niveles de carga.

#### 2.3.4. ASPECTOS ÉTICOS

Esta investigación se adhiere a los principios éticos, asegurando en primer lugar la labor de proteger los derechos al creador de dicho contenido intelectual en relación con las teorías planteadas de forma innovadora por dicha persona. Se citan adecuadamente las fuentes bibliográficas de todas las referencias conforme a las normas APA7. Todos los resultados presentados se obtuvieron con responsabilidad, al realizar una toma de datos precisa y veraz. Se seleccionaron y evaluaron cuidadosamente los aspectos estudiados para garantizar la fiabilidad de los análisis.

Además, el enfoque metodológico utilizado fue descriptivo, lo que implicó especificar el estudio mediante un cuestionario se buscar cuantificar cada una de ellas de manera independiente para describir la investigación. En consecuencia, no se llevó a cabo un trabajo de campo, ya que los objetivos y las hipótesis se plantearon de manera que la investigación se realizara mediante estudios definidos. Esto garantiza que no haya un impacto negativo en el medio ambiente y que se salvaguarde la calidad de vida.

#### 2.3.5. SELECCIÓN DE VARIABLES

- **Variable:** Análisis y verificación del desempeño sísmico

### 2.3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 1**

*Operacionalización de la Variable Dependiente*

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Desempeño sísmico	Este proceso implica elegir esquemas que permitan realizar una evaluación óptima que permitan elaborar un mejor diseño y considere las características de los elementos estructurales, no estructurales, que permitan responder de manera efectiva a distintos niveles de movimiento sísmico especificado. (Bertero, en SEAOC, 1995)	Estos métodos primero deben elaborar una aproximación idónea del desempeño en relación con la rigidez estructural, resistencia, ductilidad y su capacidad de disipación de energía. Luego es primordial que no sean más complejos de lo necesario, considerando las incertidumbres asociadas a los datos de entrada. (Bonnett Díaz, 2003)	Modelamiento	Irregularidad en Planta. Irregularidad en Altura. Demanda Sísmica.	Nominal
			Espectro Sísmico	Espectro de demanda Sísmica.	Nominal
			Demanda sísmica	Curva de capacidad. Punto de desempeño de la edificación.	Nominal
			Desempeño Sísmico	Valores límites correspondientes al nivel de desempeño.	Nominal

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

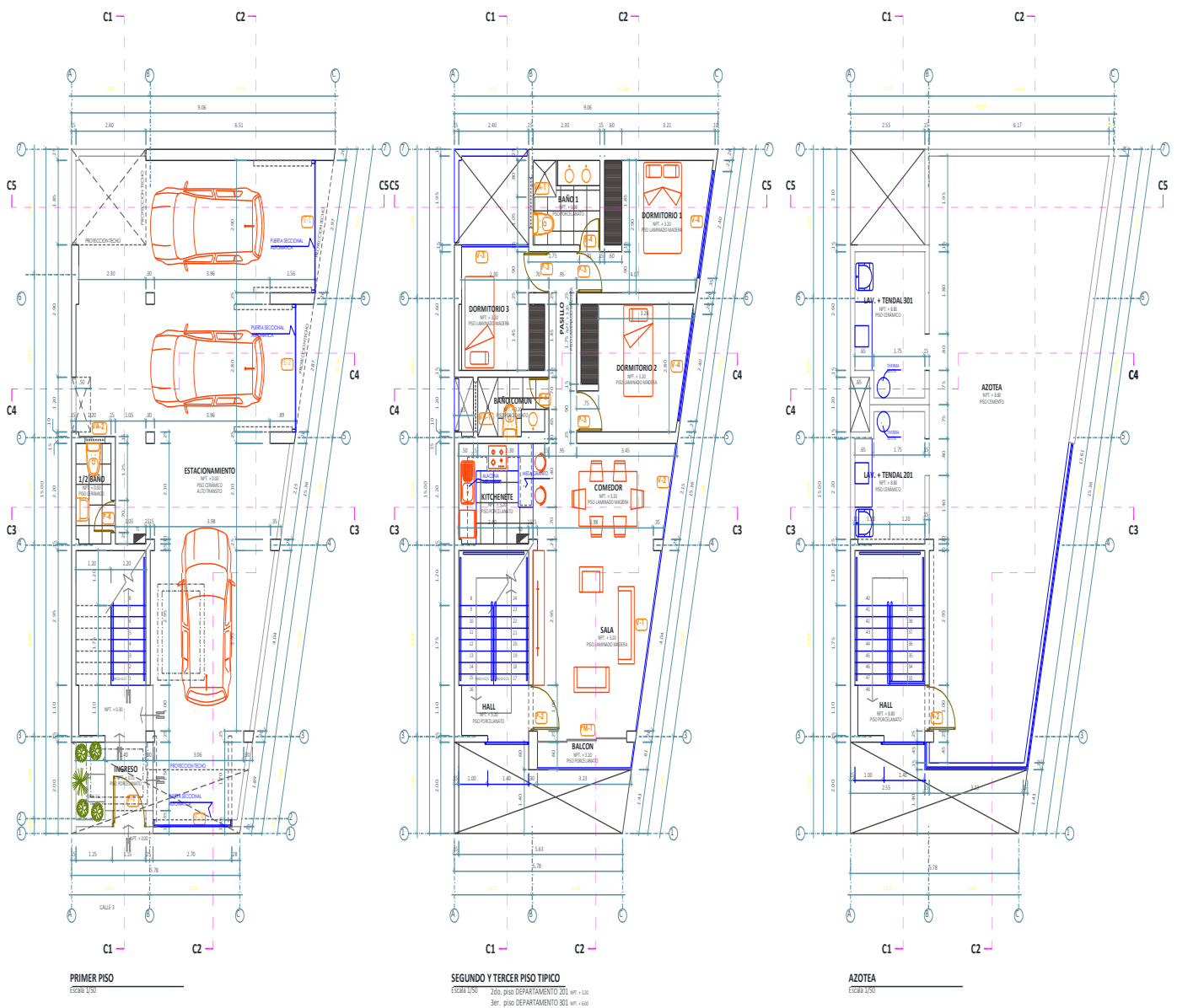
## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1 MODELAR Y PREDIMENSIONAR LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

Esta investigación se realizó el modelamiento estructural del modelo de edificio multifamiliar, por consiguiente, se presenta la siguiente figura:

**Figura 4**

*Plano de Distribución del Edificio Multifamiliar de 4 Niveles Utilizado Para la Investigación*

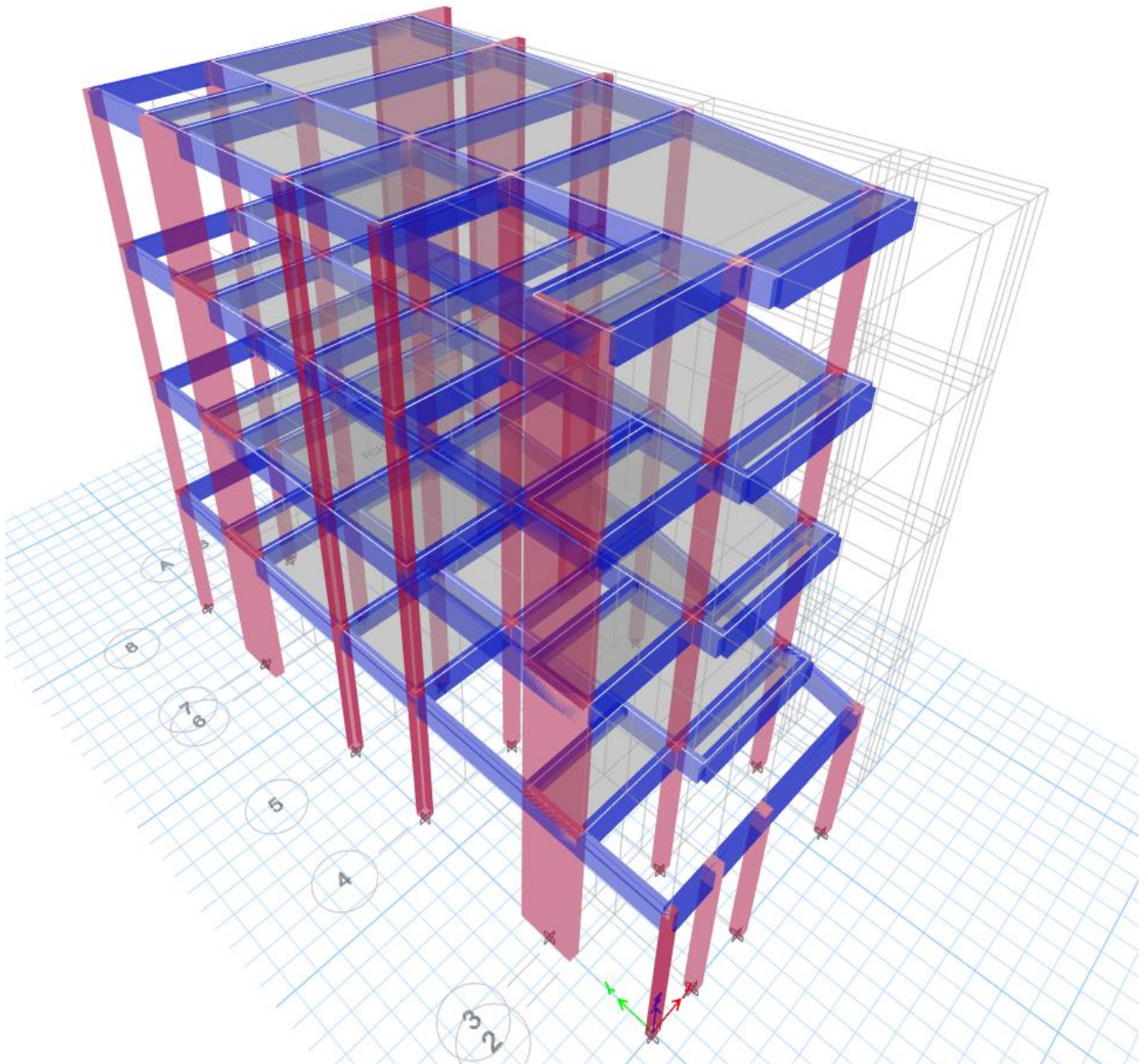


Nota. Fuente: Elaboración Propia

**Figura 5**



*Modelamiento e Ingreso de Datos al Software Computacional.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

El modelamiento se desprende del predimensionamiento por cargas de servicio los cuales se indican según sus propiedades mecánicas:

**Tabla 2**

*Propiedades Mecánicas de los Materiales*

Propiedades Mecánicas		
Resistencia a la compresión	$f'c$	210 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad del concreto	$E_c$	32 500 kg/cm <sup>2</sup>
Peso específico del concreto	$\gamma$	0.0024 kg/cm <sup>3</sup>
Módulo de Poisson del mortero	$\mu$	0.20
Módulo de Corte	$G$	91174.91 Kg/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo de fluencia del acero	$f_y$	4200 kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de Elasticidad del acero	$E_s$	2 100 000 kg/cm <sup>2</sup>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 3**

*Análisis de Cargas Empleadas.*

Análisis de Cargas	
Losa Aligerada (espesor de losa: 20cm)	300 kg/m <sup>2</sup>
Tabiquería	150 kg/m <sup>2</sup>
Acabados	120 kg/m <sup>2</sup>
Pesos Unitario del concreto	2400 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario del ladrillo	1800 kg/m <sup>3</sup>
Sobrecarga	200 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga escalera	200 kg/m <sup>2</sup>

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

### 3.1.1 Predimensionamiento de losa aligerada:

Para calcular el espesor de una losa aligerada se utilizó la siguiente fórmula:

$$h = \frac{L_n}{25}$$

Se tiene que: h: Peralte de la losa aligerada.

$L_n$ : Luz libre.

#### **Ecuación 1:** Predimensionamiento de losa aligerada

h hace referencia al peralte que tendrá la losa aligerada, el cual deberá considerar un espesor de 5cm por el concreto. Para nuestro estudio la luz más corta es de 4 metros que se encuentra localizada en la dirección longitudinal Y-Y, la cual nos indica que esta será la dirección de las viguetas.

Reemplazando datos se obtiene:

$$h = \frac{4.00}{25} = 0.16 = 0.17 \text{ m}$$

Se trabajará con una losa de 0.20 m.

### 3.1.2 Predimensionamiento de viga:

Para poder predimensionar el peralte y la base correspondiente a las vigas longitudinales y transversales, se deberá utilizar una relación que puede variar en 1/10 y 1/12 de luz libre correspondiente. Pero para el caso de sistemas aporticados se debe considerar un ancho mínimo de 25 cm. Finalmente la fórmula a utilizar quedará expresada de la siguiente forma:

$$h = \frac{L}{10} ; b = \frac{H}{2}$$

#### **Ecuación 2:** Cálculo de la sección transversal de viga

Donde:

L = Luz mayor

h = Peralte de la viga

b = Base de la viga

Se obtuvieron los siguientes resultados:

Vigas transversales (eje X):

$$H = \frac{6}{10} = 0.6 \text{ m.}$$

Entonces:  $B = \frac{0.60}{2} = 0.30 \text{ m}$

Vigas longitudinales (eje Y):

$$H = \frac{4.00}{10} = 0.40 \text{ m}$$

Como se menciona anteriormente se considera una base mínima de 0.25 m y un h de 0.5 m.

Para la programación en ETABS se utilizó vigas con una sección transversal del 0.6x0.30 para su peralte y base respectivamente.

### 3.1.3 Predimensionamiento de Columna

Para realizar el predimensionamiento de la sección de las columnas se consideraron las siguientes fórmulas:

- Columnas centrada:  $B \times H = \frac{P_{servc}}{0.45 \cdot f_c}$
- Columnas excéntrica:  $B \times H = \frac{P_{servc}}{0.35 \cdot f_c}$
- Columnas esquinada:  $B \times H = \frac{P_{servc}}{0.35 \cdot f_c}$

#### **Ecuación 3:** Cálculo de la sección transversal de columnas

Para determinar la carga de servicio se utilizará la siguiente fórmula

$$P_s = A_t * N * P_c.$$

Donde:

$A_t$ : Área tributaria

$N$ : Numero de niveles

$P_c$ : Depende de la categoría

Para esta investigación se considero una vivienda de 6 pisos mutifamiliares, la cual entre en la categoría C y según esto se considerara un  $P$  igual a 1000 kg/m<sup>2</sup>.

Se considero que  $B = H$  al ser columnas cuadradas, por lo cual se procede a obtener los lados de las columnas:

Columna centrica:

$$B \times H = \frac{19.74 * 6 * 1000}{0.45 * 210} = 1253.33 \text{ cm}^2$$

$$B^2 = 1253.33$$

$$B = 35.40 \text{ cm}$$

$$B = 35 \text{ cm}$$

Columna exterior:

$$B \times H = \frac{9.12 * 6 * 1000}{0.35 * 210} = 744.49 \text{ cm}^2$$

$$B^2 = 744.49; B = 27.29 \text{ cm}$$

$$B = 30 \text{ cm}$$

Columnas esquinera:

$$B \times H = \frac{4.35 * 6 * 1000}{0.35 * 210} = 355.10 \text{ cm}^2;$$

$$B^2 = 355.10;$$

$$B = 18.84 \text{ cm}$$

$$B = 20 \text{ cm}$$

Las áreas de columna correspondientes a estas dos últimas secciones no satisfacen el requisito mínimo de 1000 cm<sup>2</sup>. Por lo tanto, procedemos a verificar que los lados obtenidos sean correctos:

Columna centrada:

$$B \times H = \frac{H}{8} = \frac{4.1}{8} = 0.51 \text{ cm} ; B = H = 55 \text{ cm}$$

Columna excéntrica:

$$B \times H = \frac{H}{9} = \frac{4.1}{9} = 0.46 \text{ cm} ; B = H = 50 \text{ cm}$$

Columna esquinada:

$$B \times H = \frac{H}{10} = \frac{4.1}{10} = 0.41 \text{ cm} ; B = H = 45 \text{ cm}$$

Se sabe que  $H$  = Sera la altura que se mida desde la zapata hasta la losa aligerada del primer piso.

### 3.1.4 Predimensionamiento de Muros Estructurales:

Según Oviedo (2016), los muros estructurales están diseñados para resistir altas fuerzas cortantes y momentos flectores a lo largo de su longitud principal, lo que les permite absorber estos esfuerzos de manera efectiva. Además, en los bordes de los muros, se deben colocar elementos de amarre para asegurar un adecuado confinamiento y proporcionar mayor rigidez y estabilidad a la estructura intermedia. Es fundamental mantener un equilibrio entre las cuantías de refuerzo horizontal y vertical, ya que están directamente relacionadas.

Por lo tanto, se debe asegurar que tanto la cuantía vertical como la horizontal no sean inferiores a 0,0025. Para el caso de la cuantía horizontal se calculará utilizando la siguiente expresión:

$$\rho_h = \frac{V_s}{Acw \cdot f_y}$$

Para la cuantía vertical se usara:

$$\rho_v = 0,0025 + 0,5 \left( 2,5 - \frac{Hm}{Lm} \right) (\rho_h - 0,0025)$$

**Tabla 4**

*Sección y disposición de acero de los muros estructurales.*

Mód.	Longitud (m)	Espesor (m)	Refuerzo Vertical	Refuerzo Horizontal
M1	2.50	0.25	Ø1/2" @20	Ø3/8" @22
M2	1.50	0.25	Ø1/2" @20	Ø3/8" @22
M3	1.30	0.25	Ø1/2" @20	Ø3/8" @22
M4	1.25	0.25	Ø1/2" @20	Ø3/8" @20
M5	0.85	0.25	Ø1/2" @20	Ø3/8" @20

*Nota.* Detalles de la sección y la distribución de acero en muros estructurales. Fuente: Elaboración propia.

Según Blanco (1990), en las edificaciones de pocos pisos, los muros de corte pueden contar con un e de 15 cm , mientras que para edificios más altos, se utilizan espesores de 20, 25 o 30 cm. En Perú, se han construido edificios de

hasta 20 pisos con muros de 25 cm de espesor, pero es importante destacar que estos casos tuvieron longitudes significativas. En el caso de que solo haya muros de concreto armado en una dirección, sus espesores podrían ser de 40, 50 o 60 cm.

Es relevante mencionar que el predimensionamiento de los muros es una tarea complicada, ya que los resultados alentadores solo se obtienen después de realizar los análisis sísmicos adecuados. Por lo tanto, es indispensable elaborar un análisis sísmico completo para determinar el espesor y el refuerzo adecuado de los muros. Así, se logrará predimensionar la sección y calcular la cantidad de acero necesaria de manera precisa y segura.

### 3.2 PERIODO FUNDAMENTAL:

Se determino utilizando método de Rayleigh, indicado según la normativa, siendo específicos en el apartado 28.4.2 reglamento Sismorresistente, E030-2018.

**Tabla 5**

*Periodo Fundamental en Translación X*

Piso	Altura Hi (m)	Peso Pi (Tn)	Pi x hi (Tn.m)	$\alpha_i$	$f_i$ T(n)	$d_i$ (mm)	$P_i \cdot d_i^2$ (tn.mm <sup>2</sup> )	$f_i \cdot d_i$ (tn.mm)
Piso4	11.6	44.2	512.55	0.34	14.12	3.408	513.19	48.132
Piso 3	8.8	53.4	469.564	0.32	12.94	4.841	1250.50	62.637
Piso 2	6	53.4	320.157	0.22	8.82	5.822	1808.66	51.361
Piso 1	3.2	57.7	184.532	0.12	5.08	4.321	1076.69	21.971
Base	-	208.57	1486.80	1.00	40.96	-	4649.03	184.10

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.



$$T = \left( 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i * d_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i * d_i}} \right)$$

$$T = 0.3188 \text{ s}$$

$$\omega = 19.707 \text{ rad/s}$$

$$f = 3.1364 \text{ cyc/s}$$

$$PPMM = 0.2095$$

$$KL = 1730.40 \text{ Tn/m}$$

El periodo fundamental en las direcciones de translación X e Y se obtuvo a partir de la tabla que presenta los desplazamientos elásticos acumulados del análisis estructural y la altura de la estructura. Este periodo fundamental fue calculado como 0.3188 segundos, con una frecuencia angular natural de 19.707 rad/seg y una frecuencia natural de 3.1364 cyc/seg. Además, se determinó que el porcentaje de participación de masas en este periodo es de 20.95%, y la rigidez de la edificación es de 1730.40Tnf/m.

**Tabla 6**

*Periodo Fundamental en Translación Y*

	Altura	Peso	Pi x hi		$f_i$	$d_i$	$P_i \cdot d_i^2$	$f_i \cdot d_i$
Piso	Hi (m)	Pi (Tn)	(Tn.m)	$\alpha_i$	T(n)	(mm)	(tn.mm <sup>2</sup> )	(tn.mm)
Piso 4	11.6	44.2	512.55	0.34	14.12	3.526	549.34	49.799
Piso 3	8.8	53.4	469.564	0.32	12.94	4.75	1203.92	61.460
Piso 2	6	53.4	320.157	0.22	8.82	5.459	1590.15	48.159
Piso 1	3.2	57.7	184.532	0.12	5.08	3.77	819.60	19.169
Base	-	208.57	1486.80	1.00	40.96	-	4163.02	178.59

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

$$T = \left( 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i * d_i^2}{g \sum_{i=1}^n f_i * d_i}} \right)$$

$$T = 0.306 \text{ s}$$

$$\omega = 20.511 \text{ rad/s}$$

$$f = 3.2644 \text{ cyc/s}$$

$$\text{PPMM} = 0.3617$$

$$\text{KL} = 3236.30 \text{ Tn/m}$$

Periodo fundamental en translación X e Y, para tabla que toma en cuenta los desplazamientos elásticos acumulados y como la altura logro calcular un periodo fundamental de 0.306 segundos, donde la frecuencia angular natural se obtuvo una de 20.511 rad/seg., frecuencia natural de 3.2644 cyc/seg. Además, el porcentaje de participación de masa fue de 0.3617% y la rigidez del edificio fue de 3236.30Tnf/m

### **Modos de Vibración de la Estructura.**

El tiempo que demorara una estructura el repetir su patrón de vibraciones se conoce como periodo (T) para ese modo de vibración. El periodo más largo, conocido como período fundamental, generalmente ocurre en el primer nivel de la estructura. El primer modo que se origina a partir de vibración de la edificación se le conoce como período fundamental y, en el análisis computacional, se ha determinado lo siguiente:

- En el modo de vibración de Translación en X, el período fundamental es de 0.482 segundos, con una contribución del 20.95% de la masa en esa dirección y una rotación en Z del 21.9%.

- Para Y el modo de vibración de translación, el segundo período de vibración es de 0.368 segundos, con una contribución del 37.91% de la masa en esa dirección y una rotación en Z del 7.04%.

-Para Z el modo de vibración, el tercer período de vibración en la dirección X es de 0.249 segundos, con una contribución del 44.85% de la rotación en Z.

**Tabla 7**

*Modos de Vibración de la Estructura*

Case	Modo	Periodo	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	RX	RY	RZ	Sum RX	Sum RY	Sum RZ
Modal	1	0.482	0.2095	0.3617	0	0.2095	0.3617	0.1089	0.0597	0.219	0.1089	0.0597	0.219
Modal	2	0.368	0.2948	0.3791	0	0.5043	0.7408	0.149	0.1118	0.0704	0.2579	0.1716	0.2894
Modal	3	0.249	0.2346	0.0222	0	0.7388	0.763	0.0101	0.1213	0.4485	0.268	0.2928	0.738
Modal	4	0.148	0.0362	0.0454	0	0.775	0.8084	0.1811	0.1454	0.035	0.4491	0.4382	0.773
Modal	5	0.099	0.0432	0.0852	0	0.8182	0.8936	0.2399	0.1085	0.016	0.689	0.5467	0.789
Modal	6	0.074	0.0082	0.0133	0	0.8264	0.9069	0.0284	0.0161	0.0221	0.7174	0.5628	0.8111
Modal	7	0.053	0.0787	0.0028	0	0.9051	0.9097	0.0061	0.1479	0.0966	0.7235	0.7107	0.9076
Modal	8	0.041	0.0169	0.0055	0	0.922	0.9153	0.0092	0.0398	0.0106	0.7327	0.7506	0.9182
Modal	9	0.041	0.0016	0.0344	0	0.9237	0.9497	0.0794	0.0028	0.0002	0.8122	0.7534	0.9184
Modal	10	0.021	0.0267	0.0011	0	0.9504	0.9507	0.0024	0.0604	0.029	0.8145	0.8138	0.9474
Modal	11	0.02	0.0058	0.013	0	0.9562	0.9638	0.0339	0.0148	0.002	0.8484	0.8286	0.9494
Modal	12	0.011	0.0082	0.0006	0	0.9644	0.9644	0.0015	0.0213	0.0086	0.8499	0.8499	0.9581

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 8**

*Cargas Modales Participativas Globales*

Case	Item Type	Item	Static %	Dynamic %
Modal	Acceleration	UX	100	96.44
Modal	Acceleration	UY	100	96.44

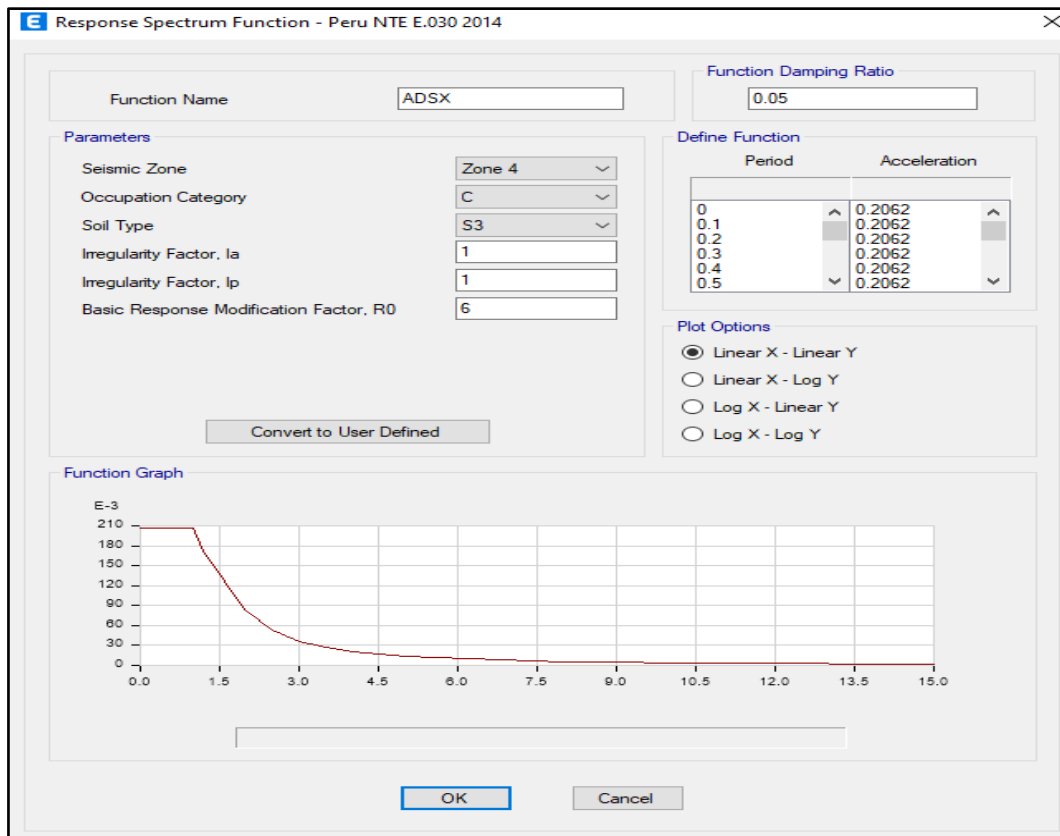
*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

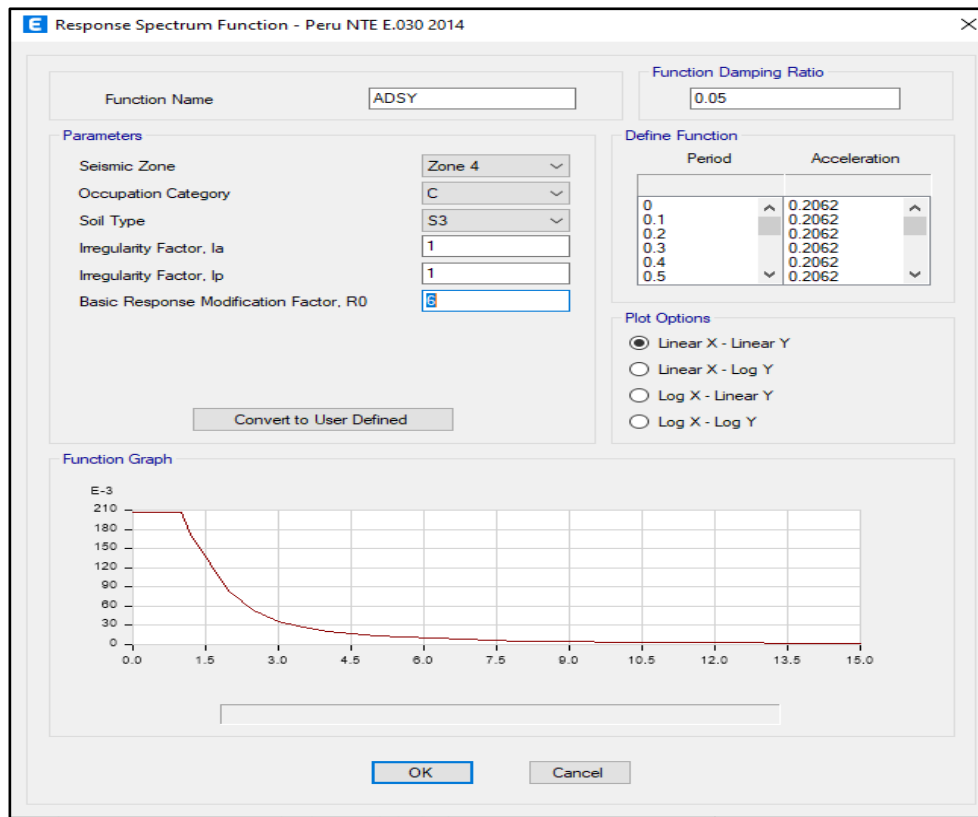
La tabla 6 y 7 indica que el sistema y modelamiento es el correcto entre el porcentaje de participación de análisis modales estáticos y dinámicos entre 100% y un 96.44%.

### 3.3 DETERMINANDO EL ESPECTRO DE RESPUESTA:

**Figura 6 y 7**

*Determinación del Espectro de Respuesta e Ingreso de Datos al Software Computacional*



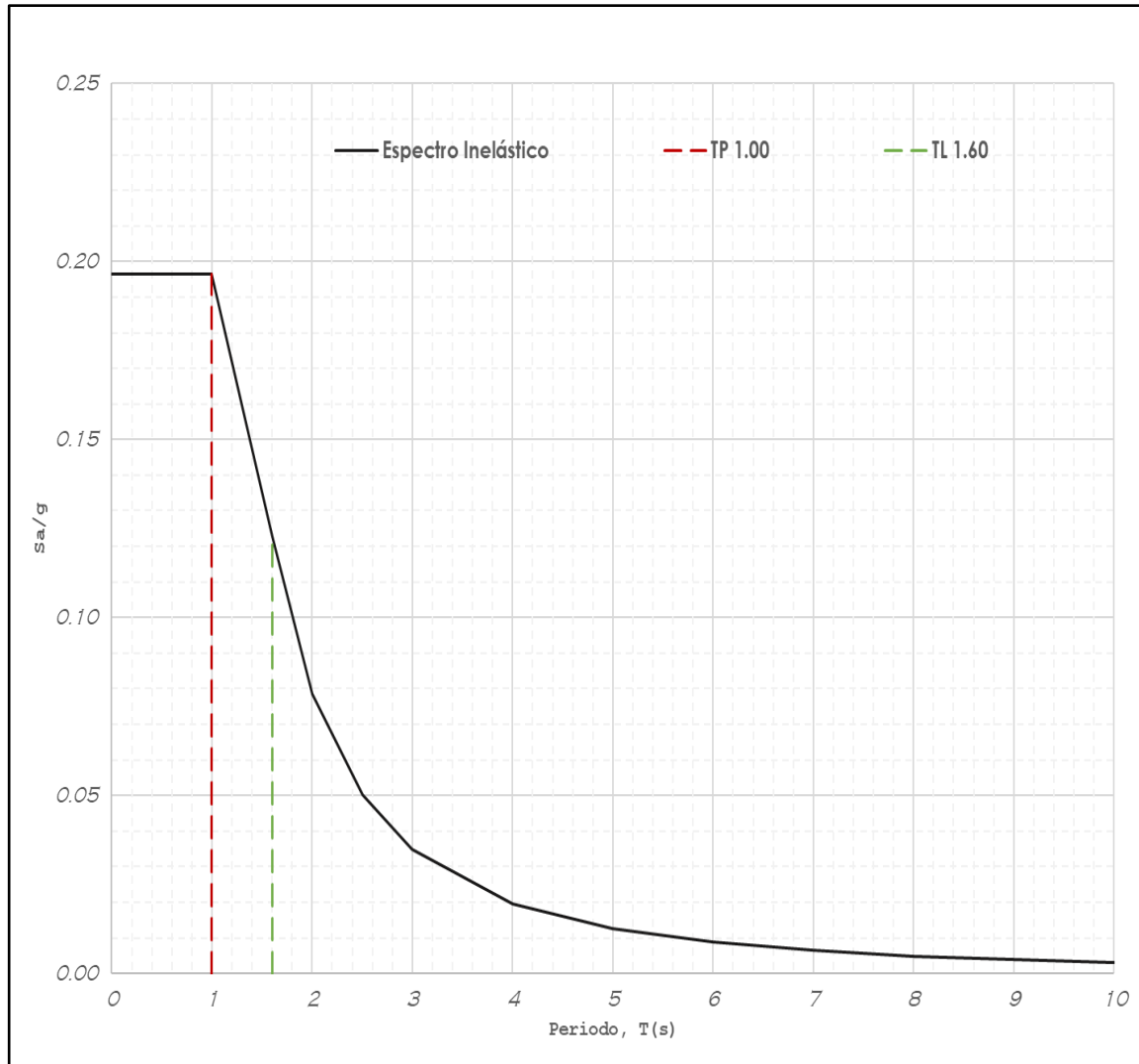


*Nota.* Fuente: Elaboración propia.

En el proceso de modelamiento estructural se ha determinado trabajar con un  $R=6$  para la evaluación de sismo moderado con la cual obtendremos resultados fiables y verificables según la norma E030.

**Figura 8**

*Se Representa el Espectro de Respuesta Para los Dos Ejes de Análisis*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 9**
*Desplazamientos y Distorsiones de Entrepiso requeridos por el Reglamento E030-2019 en X.*

Story	Combo	Altura	$\Delta$ Max.	$\Delta$ Relativo	Deriva	Deriva	Deriva	
		cm	cm	cm	Elástica	Inelástica	Límite	
Techo 4	SX+e	1160	1.4537	0.3341	0.00119	0.00609	0.007	Cumple
Techo 3	SX+e	880	1.1196	0.3706	0.00132	0.00675	0.007	Cumple
Techo 2	SX+e	600	0.749	0.3169	0.00113	0.00577	0.007	Cumple
Techo 1	SX+e	320	0.4321	0.4321	0.00135	0.00689	0.007	Cumple
Base	SX+e	0	0	0	0	0		

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 10**
*Desplazamientos y Distorsiones de Entrepiso requeridos por el Reglamento E030-2019 en Y.*

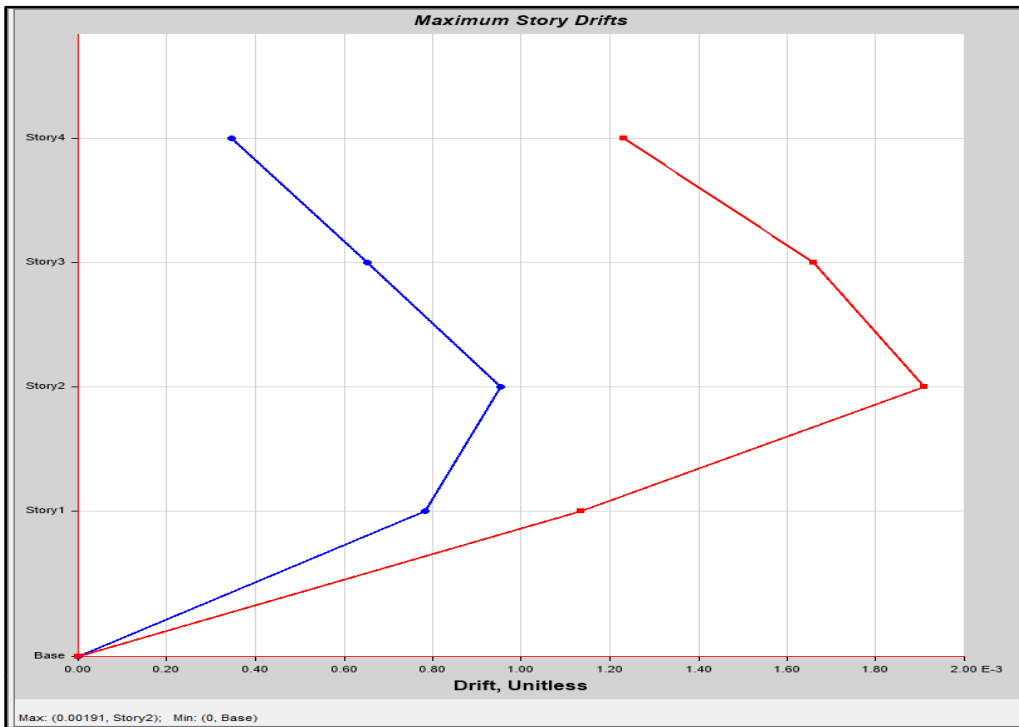
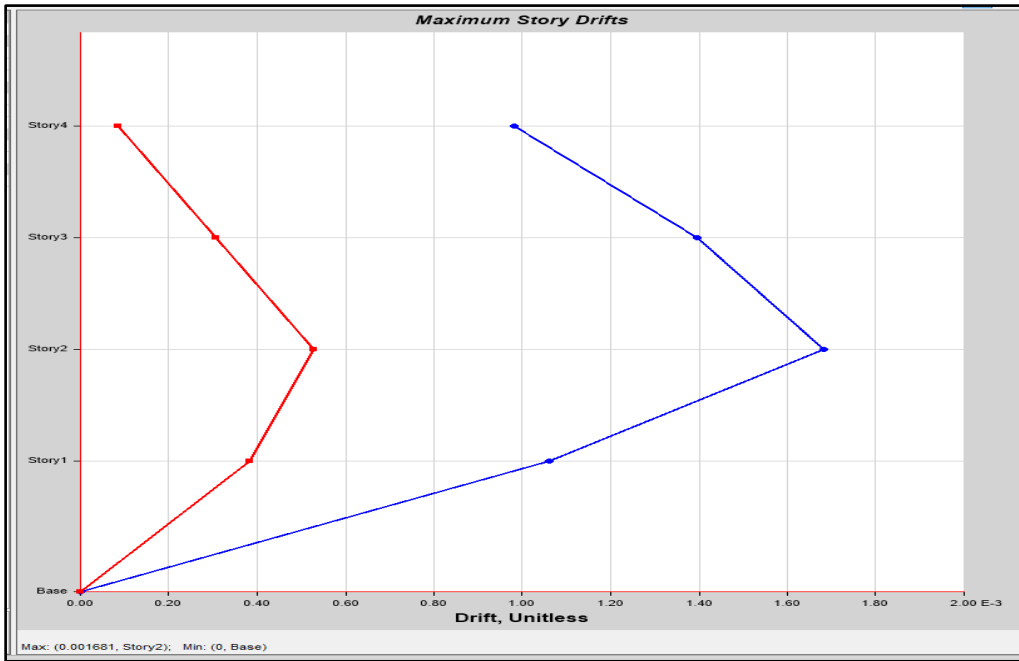
Story	Combo	Altura	$\Delta$ Max.	$\Delta$ Relativo	Deriva	Deriva	Deriva	
		cm	cm	cm	Elástica	Inelástica	Límite	
Techo 4	SY+e	1160	1.4506	0.3527	0.00126	0.00642	0.007	Cumple
Techo 3	SY+e	880	1.0979	0.375	0.00134	0.00683	0.007	Cumple
Techo 2	SY+e	600	0.7229	0.3459	0.00124	0.00630	0.007	Cumple
Techo 1	SY+e	320	0.377	0.377	0.00118	0.00601	0.007	Cumple
Base	SY+e	0	0	0	0	0		

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 9**

*Desplazamientos y Distorsiones de Entrepiso requeridos por el Reglamento E030-2019.*



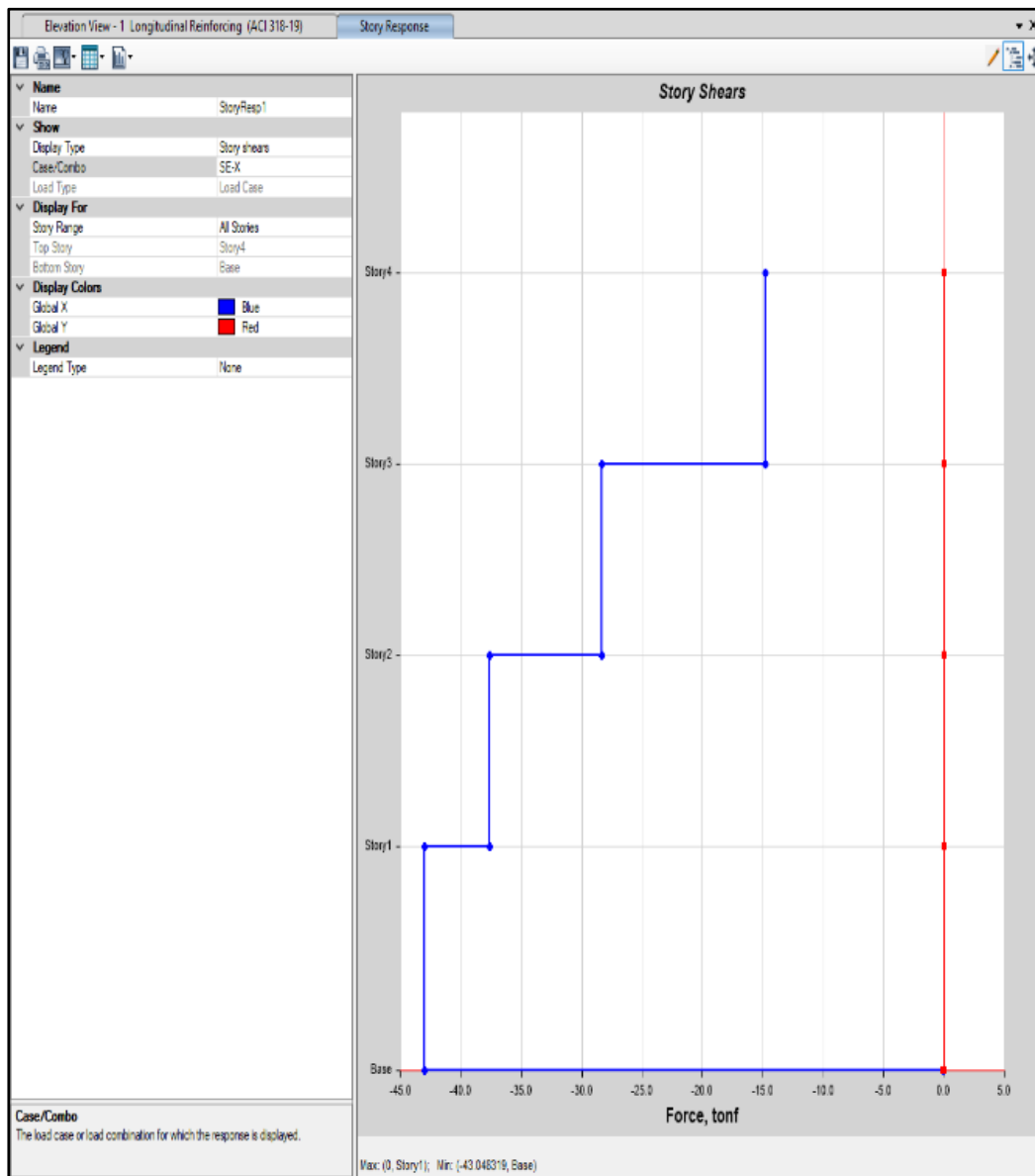
*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

### 3.4 DETERMINANDO EL ANÁLISIS LINEAL Y PUSHOVER:

Expresión para el Análisis Estático:

**Figura 10**

*Cálculo de la distribución de la cortante en la base en el edificio multifamiliar.*



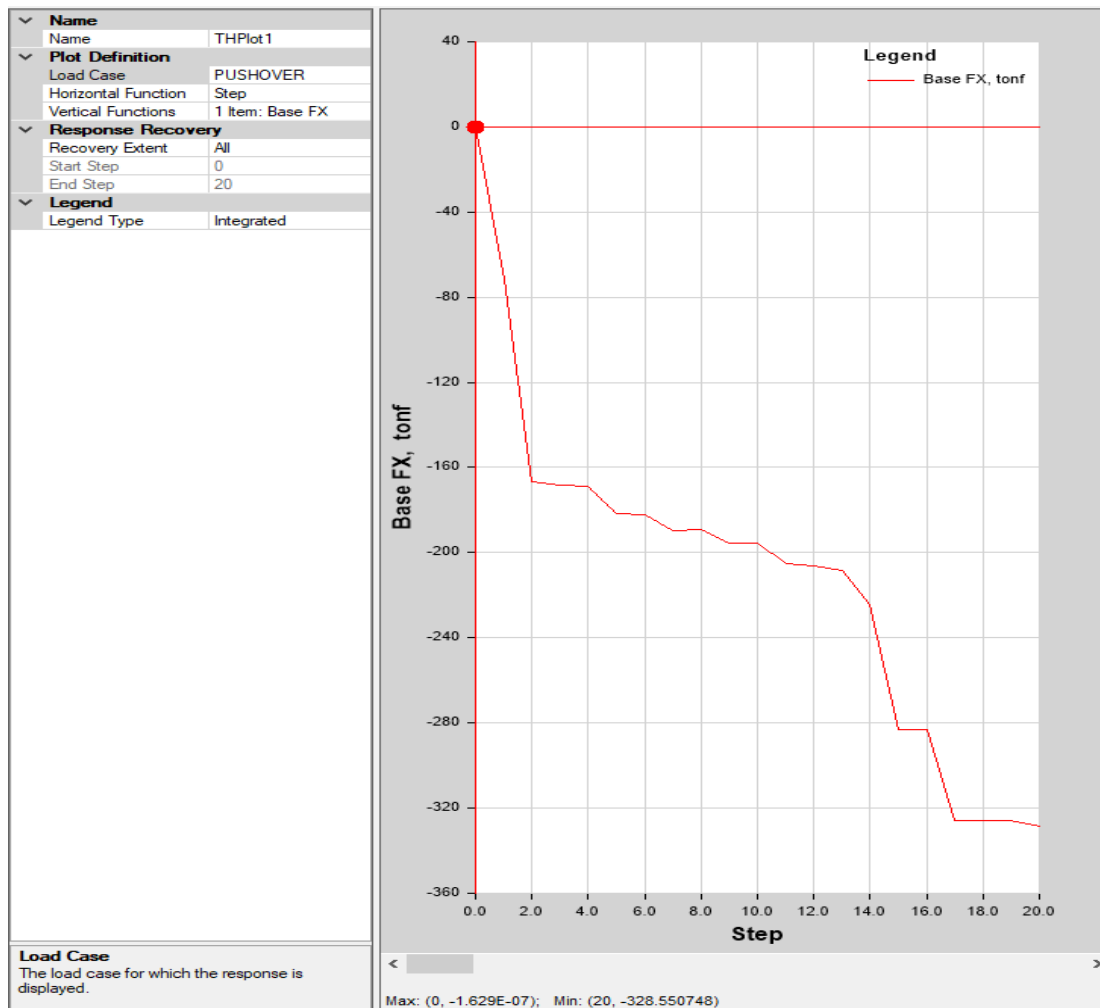
*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

Mediante la consideración de los parámetros del sitio, se ha determinado que el porcentaje de la fuerza originada por el sismo que afectará al edificio pero en especial en el entrepiso donde será del 15.469% del peso total. Para llevar a cabo el Análisis Dinámico Lineal, se empleará un software especializado que incorpora un diagrama de pseudoaceleraciones, el cual se ajusta a los parámetros específicos del sitio para cada intervalo de tiempo.

### Análisis Estático No Lineal (Pushover)

**Figura 11**

*Curva pushover – Análisis estático no lineal.*

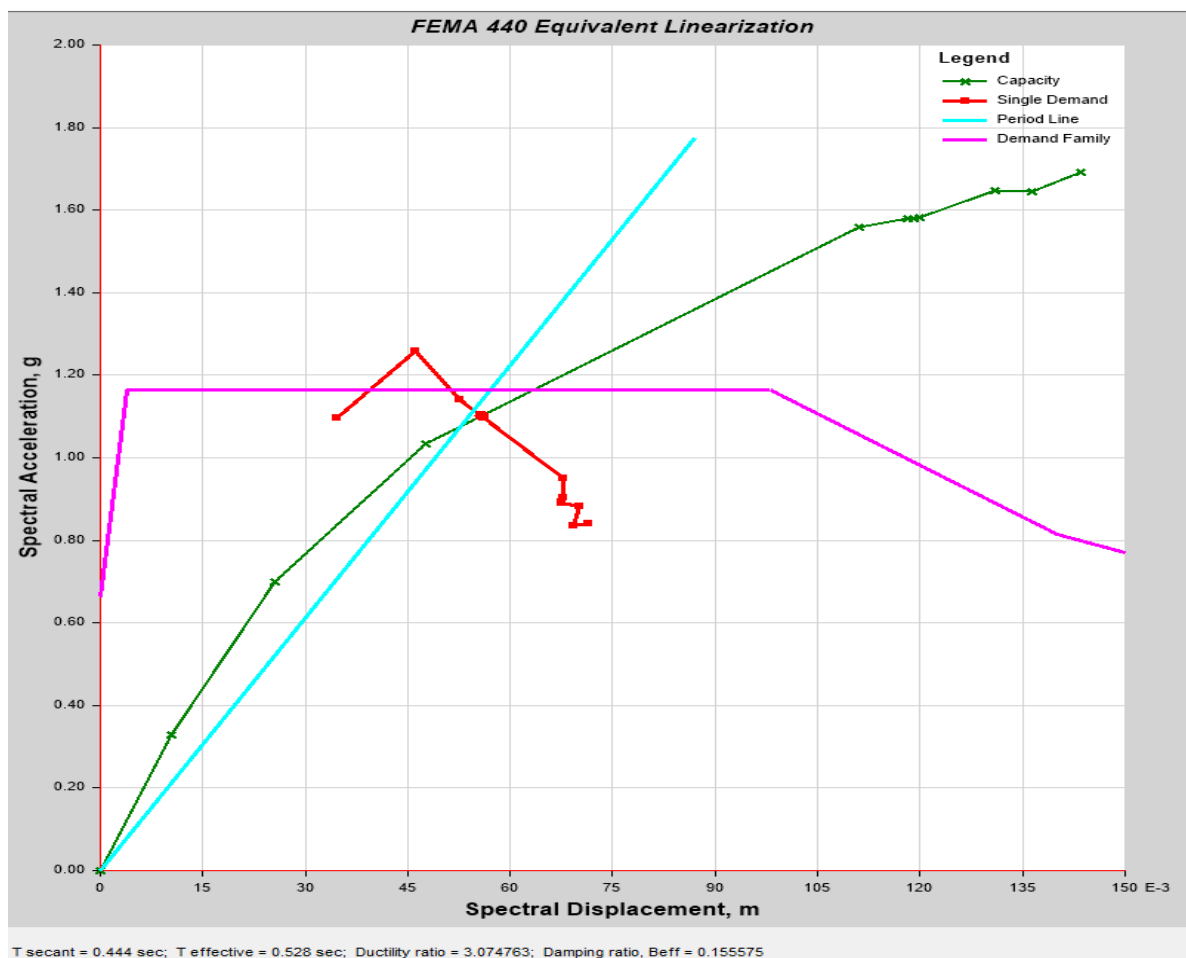


*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

Como se indica en la figura 11, la representación de la capacidad estructural del edificio multifamiliar estará definida por el desplazamiento inelástico máximo momentos antes de que la estructura llegue a colapsar para logra obtener la deformación máxima en el paso 20 con un cortante de 328.55 tn.

**Figura 12**

*Espectro de Capacidad – Demanda*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

Punto de desempeño - Intersección de Espectro de Capacidad - Demanda con un periodo 0.444 seg. Y un Periodo efectivo de 0.528 seg. Ratio de ductilidad 3.074763.

**Tabla 11**  
*Base Shear vs Monitored Displacement*

Step	Desplazamiento cm	Base Force tonf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	334	0	0	0	0	334	0	0	0	334
1	0.7481	72.9719	333	1	0	0	0	334	0	0	0	334
2	2.1005	169.6909	265	69	0	0	0	334	0	0	0	334
3	2.1478	171.6222	263	71	0	0	0	333	1	0	0	334
4	2.167	171.8717	263	71	0	0	0	333	1	0	0	334
5	2.5292	185.0086	247	87	0	0	0	328	6	0	0	334
6	2.5643	185.5981	246	88	0	0	0	328	6	0	0	334
7	2.807	192.8746	237	97	0	0	0	326	8	0	0	334
8	2.8261	192.7902	237	97	0	0	0	326	8	0	0	334
9	3.0541	198.9335	232	102	0	0	0	324	10	0	0	334
10	3.0783	198.8631	232	102	0	0	0	322	11	0	1	334
11	3.5041	208.6435	217	117	0	0	0	314	18	0	2	334
12	3.636	209.8961	215	119	0	0	0	314	18	0	2	334
13	3.7641	212.2435	212	122	0	0	0	311	20	0	3	334
14	4.9644	228.5711	197	137	0	0	0	292	39	0	3	334
15	8.362	288.2088	173	161	0	0	0	263	68	0	3	334
16	8.4088	288.3401	173	161	0	0	0	263	68	0	3	334
17	10.7386	331.8572	157	174	1	2	0	236	87	8	3	334
18	10.7444	331.7744	157	174	1	2	0	236	87	8	3	334
19	10.7561	331.9476	157	174	1	2	0	236	87	8	3	334
20	10.8681	334.6037	155	176	1	2	0	236	86	9	3	334

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia

Para el último entre piso se obtuvo un desplazamiento absoluto que según la curva de capacidad es de 10.7386 cm.

**Tabla 12**

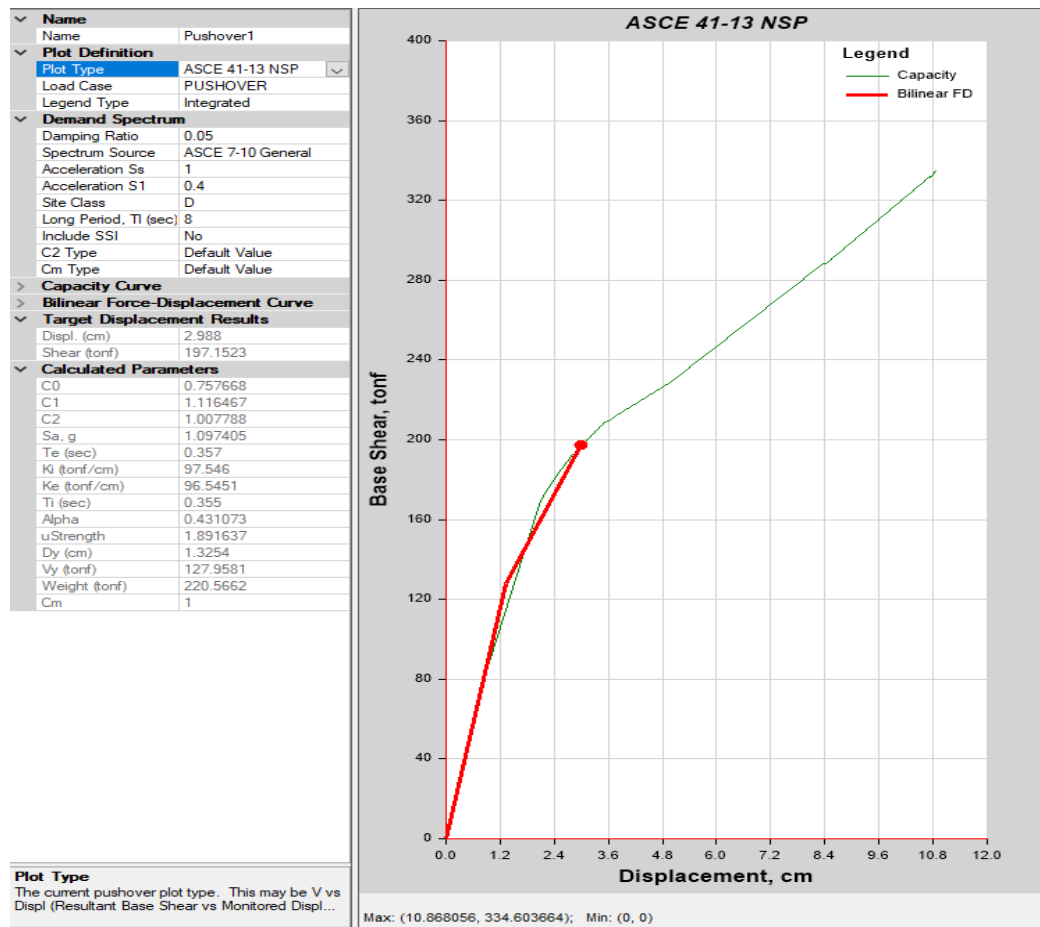
*FEMA 440 Equivalent Linearization.*

Sd	Sa	Period
cm	g	sec
0	0	0
0.9354	0.298179	0.355
2.8195	0.677215	0.409
2.8817	0.684576	0.412
2.9057	0.685481	0.413
3.3767	0.734771	0.43
3.4183	0.73685	0.432
3.7229	0.764046	0.443
3.7414	0.76386	0.444
4.0259	0.787078	0.454
4.0463	0.78674	0.455
4.5567	0.822112	0.472
4.6677	0.829024	0.476
4.8000	0.838922	0.48
5.9064	0.916242	0.509
9.6814	1.152201	0.582
9.7175	1.153092	0.582
13.0345	1.30386	0.634
13.0385	1.303376	0.635
13.0503	1.303992	0.635
13.2084	1.313088	0.636

*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 13**

*Curva de Capacidad ASCE 41-13*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

En el punto de la Curva de Capacidad, se registró un desplazamiento de 0.11312 m y una fuerza cortante de 428.110325 Tonf. En el punto de desempeño, se observó un desplazamiento de 0.02988 m y una fuerza cortante de 197.1523 Tonf. Estos resultados indican que la demanda sísmica, calculada utilizando la metodología que mediante coeficiente de desplazamientos que ha sido planteado por ASCE 41-43 para un diseño en específico, lo cual lleva a la estructura al colapso.

Para comparar los resultados obtenidos, se utilizó la metodología que utiliza la FEM 440 la cual mediante el apoyo de un espectro de capacidad. Para luego mediante el desempeño estructural se realizó la evaluación conforme a los requerimientos mínimos propuestos. Según los resultados obtenidos, la estructura



puede mantener un desempeño ocupacional satisfactorio únicamente para un nivel de sismo para cargas de servicio, lo que evita daños estructurales. Sin embargo, para este tipo de diseño según el sismo y el nivel de sismo máximo, la estructura podría colapsar.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### DISCUSIÓN

Los datos calculados para nuestra investigación apoyan la hipótesis planteada inicialmente. Específicamente, se evidencia que los elementos columnas son vulnerables, la cual se observa de mejor manera en la curva de capacidad de la estructura a nivel global. El comportamiento inicial de la estructura que se presentó a la municipalidad no cumple con los estándares mínimos de diseño para temas de sismoresistencia, esto debido a que no se cuenta con la cantidad necesaria de muros de corte. Por lo cual modificar las secciones de las columnas y vigas no podría ser considerada como una solución debido a que esto conllevaría que las derivas se verían sobrepasadas por el incremento de masa en la edificación.

Una de las posibles soluciones sería presentar de manera detallada y directa la asignación de los muros de corte para dos perspectivas, de tal forma de indiquen los cuadros de distorsiones para los entrepisos, con el fin de satisfacer lo indicado en la normativa. El análisis no lineal especifica las zonas donde da inicio la falla, y esta información se incluye en un anexo para reforzar zonas locales, especialmente en las vigas. Se busca aumentar la rigidez lateral del pórtico en ambos lados de los muros perimetrales, destacando la importancia del lado longitudinal que aporta rigidez a la edificación. Por otro lado, se identifica que el lado corto perimetral presenta muros apilados de manera irregular, lo cual es perjudicial para la edificación.

En este sentido, elaboro una investigación para determinar el comportamiento de las rotulas plásticas localizadas de forma inicial en la viga, lo cual permitirá conocer las características de edificio.

Al realizar el modelamiento y el predimensionamiento correspondiente a las piezas estructurales, estableciendo un sistema Dual, constituido en columnas, muros

estructurales y vigas peraltadas, la misma que contribuyeron adecuadamente ante lo establecido por la norma E030 (NTP E030-2019), la cual estipula las derivas máximas y espaciamiento entre edificios.

Con el fin de obtener el Análisis Estático No Lineal "Pushover" (AENL), se obtuvo un resultado que calcula el nivel de desempeño del edificio multifamiliar. Se concluye que esta metodología proporciona una aproximación adecuada del nivel de desempeño en términos de estructura, resistencia, ductilidad y disipación de energía. Aunque el Análisis Dinámico No Lineal ofrece una evaluación más completa, es importante destacar que ambos métodos son de naturaleza estática, y que según deformación máxima en el paso 20 con un desplazamiento 10.8681cm y cortante 328.55 tn; Así como en el análisis dinámico con un periodo 0.444 seg., Periodo efectivo de 0.528 seg. Ratio de ductilidad 3.074763.

Determinar el desplazamiento máximo (ADNL) y el punto de desempeño (AENL) que tendrá el edificio. Punto del Curva de Capacidad 0.11312m, 428.110325Tonf. Punto de desempeño: 0.02988m y Shear :197.1523Tonf, El estudio realizado por Torres, C. & Zavala, D (2021) analiza cambios en la cortante basal de un edificio regular, obteniendo los siguientes resultados:

- Caso 1 para una irregularidad de masa en el nivel 3, se presenta un aumento del 2,5% en la cortante basal.
- Caso 2 para una irregularidad de masa en el nivel 6, se registra un aumento del 5%.
- Caso 3 para una irregularidad de masa en el nivel 9, se observa un incremento del 2,4%.
- Caso 4 para una irregularidad de masa en el nivel 12, se determina un aumento del 3,8%.

Donde se descubrió que la fuerza cortante en el nivel 3 es la, debido a que es el que contribuye con el porcentaje más significativo de fuerza cortante de la base.

En la identificación de zonas vulnerables en la edificación de recibir daño sísmico estas se indujeron en 10.7386cm de desplazamiento en el paso 17 con una cortante 331.8572 tnf y elementos que llevan a estructura a con un nivel de desempeño del pre colapso, en donde según la propuesta visión 2000 establece una degradación de la rigidez lateral es tal que interrumpe los servicio y puede evitar el escape de las personas con rapidez, la cual se muestra según la SEAOC (1995) en donde indica que el nivel de daño es extenso, y la seguridad de los ocupantes se ve comprometidas.

Mediante si la estructura pronto desarrolló cumple con los estándares de resistencia sísmica. Los resultados indicaron que la estructura no cumplió con dichos trastornos. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis no lineal a nivel global, lo que ayudó a identificar las zonas de rotura en las columnas. En esas áreas, se propusieron las placas corte que se mencionaron como una posible solución. Estos resultados se utilizaron mediante un análisis no lineal que experiencias el refuerzo en los elementos estructurales, produciendo una curva de capacidad que muestra el desempeño del bloque estructural. Durante el análisis Pushover , se evaluó el comportamiento de los elementos desde su inicio hasta la falla.

## **LIMITACIONES**

La restricción radica en el empleo de enfoques simplificados, lo que conlleva una disminución en la precisión de los resultados. Se sugiere optar por programas de investigación para obtener datos más precisos, dado que los softwares comerciales implican elevados costos y un tiempo computacional considerable en la obtención de los resultados.

## IMPLICANCIAS

Con base en las implicancias del estudio, se realizó una búsqueda de información para emplear la Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño, con el propósito de proponer sistemas estructurales adicionales en la norma E.030. Esto condujo a obtener nuevos Coeficientes  $R_o$  y, en consecuencia, lograr diseños estructurales eficientes y no sobre estructurados.

## CONCLUSIONES

- Se elaboro el modelamiento estructural óptimo para los elementos estructurales aplicando el predimensionamiento de columnas, placas, vigas y losas.
- Para poder obtener el periodo fundamental para la estructura en estudio según el método de Rayleigh en la dirección X fue de 0.3188 segundos, y en Y de 0.306 segundos siendo un valor adecuado según la normativa sismorresistente, Así mismo en el calcular el periodo fundamental del edificio con el ETABS es de 0.482 segundos, aun así, cumplieron con la normativa sismorresistente.
- Se concluyó que el espectro de respuesta para un sistema Dual y sismo moderado con un  $R=6$  se obtuvo una deriva elástica de 0.00119 y deriva inelástica de 0.00609 en el sentido de análisis X y una deriva elástica de 0.00126 y deriva inelástica de 0.00642 en el sentido de análisis Y, cumplen con la normativa sismorresistente (Deriva límite: 0.007)
- Se determinó que el porcentaje de la fuerza sísmica es el 15.469% del peso de la edificación; Para las dos direcciones la cortante que corresponde al Análisis Dinámico Lineal fue de 96.44% del cortante del Análisis de Fuerzas Equivalentes Lineal. Se sabe que se pide un mínimo requerido del 80%, lo que indica una deficiente configuración estructural. Por lo cual las derivas de entrepiso en la Dirección X, no cumplen con el valor admisible.

- Se concluye que desplazamiento inelástico máximo momentos antes que la estructura llegue al colapso tiene una deformación máxima en el paso 20 con un cortante 328.55 tn. Según el espectro de Capacidad - Demanda tiene un periodo 0.444 seg., Ratio de ductilidad 3.074763, y con el Punto del Curva de Capacidad 0.11312m, 428.110325Tonf. Punto de desempeño: 0.02988m y Shear :197.1523Tonf, cumpliendo con la Normativa vigente y la Normativa FEMA 440.

## REFERENCIAS

AMERICAN Society of Civil Engineers, (USA). ASCE/SEI 7, de 2010: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Virginia: ASCE, 2010,658pp.

ARRIAGADA, Jaime. *Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional)*. Tesis (grado de Ingeniero Civil). Valdivia: Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, 2005, 259pp.

CACERES, Yosep y AQUINO, Carlos. Aislamiento Sísmico de un Hospital de 4 pisos en la Región de Arequipa. Tesis (grado de Ingeniero Civil). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería Civil, 2017, 279pp.

CHUMAN, Ayrton y VALLADARES, Christopher. Análisis y Diseño Estructural Comparativo de una Edificación de Quince Niveles, Con y Sin Aisladores Sísmicos Elastoméricos con Núcleo de Plomo, ubicada en el Distrito de Pimentel. Tesis (grado de Ingeniero Civil). Lima: Universidad de San Martín de Porres, 2017, 241pp.

ESTEBA, A. E. (2017). Análisis estático y dinámico no lineal en el desempeño de un edificio de concreto armado diseñado bajo la norma E-030 en Puno.

FEMA,(2000). NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings. Report no. 356, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C

GUTIERREZ, Oscar. Estudio Comparativo para Determinar la Eficiencia y Aplicabilidad de Aisladores Sísmicos de Base y Diagonales con Amortiguadores. Tesis (grado de Ingeniero Civil). Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2016, 283pp.

ICBO, 1997, Uniform Building Code, International Council of Building Officials, Whittier, CA.

MENDO, Arnold. Bases para la Implementación de la Norma Peruana de Análisis y Diseño de Edificios con Aislación Sísmica. Tesis (grado de Ingeniero Civil). Perú: Universidad Nacional De Piura, Facultad de Ingeniería, 2012, 162pp.

MEZA, Zutner. Análisis y Diseño de un Hospital con Aisladores Elastoméricos en el Perú. Tesis (grado de Ingeniero Civil). Piura: Universidad Nacional de Piura, 2015, 316pp.



MINISTERIO de Vivienda, Construcción y Saneamiento (Perú). NTP E.030, de 2016:  
Diseño Sismo Resistente. Lima: MVCS, 2016,32pp.

NAEHIM, Fazard y KELLY, James. Design of Seismic Isolated Structures From Theory  
to Practice. New York: John Wiley & Sons, 1999. 296 pp. ISBN: 0471149217

Torres, C., & Zavala, D. (2021). Influencia del efecto P-Delta y la irregularidad en masa  
en el comportamiento estructural de una estructura de mediana altura. Universidad de  
Ciencias Aplicadas.

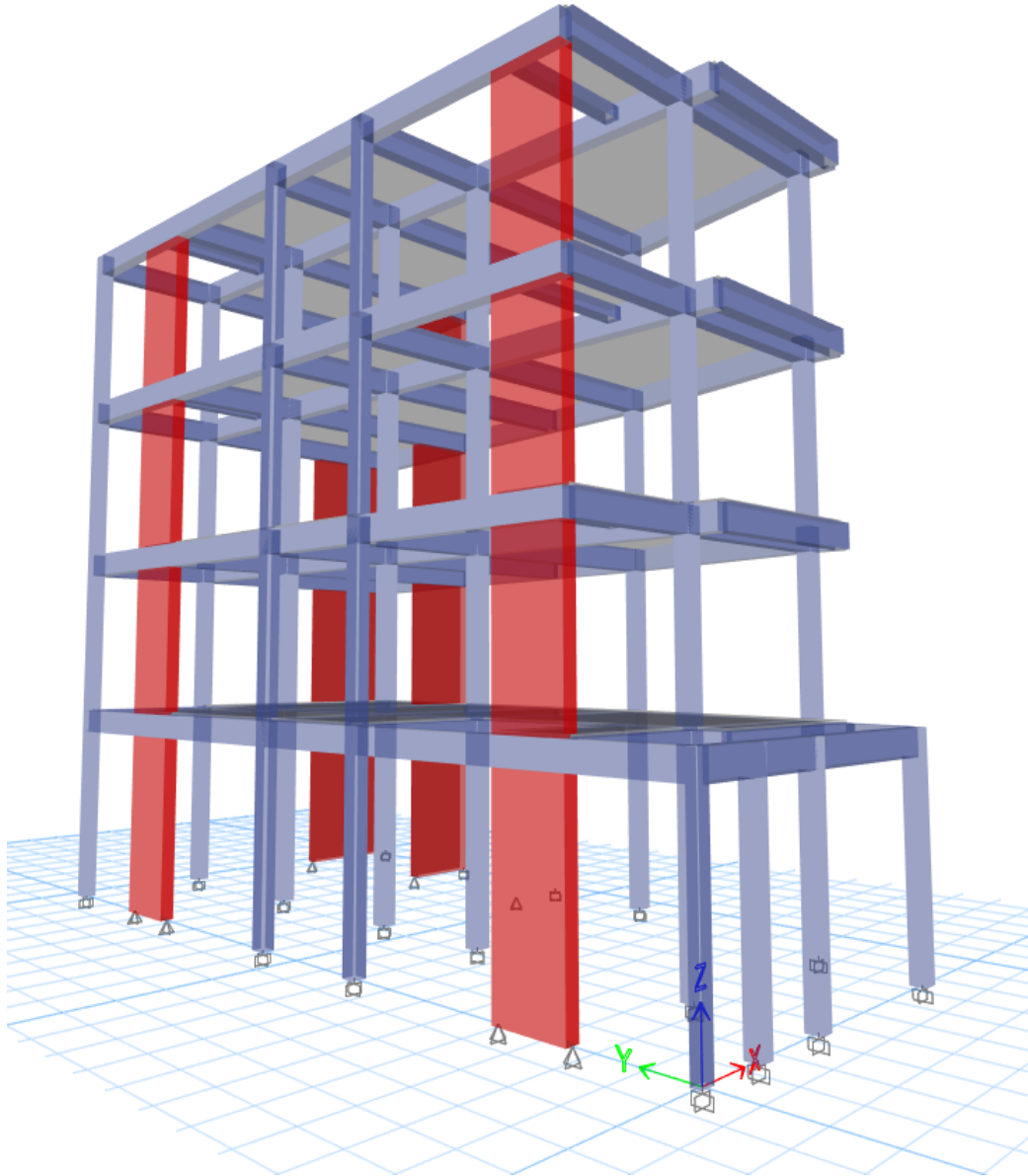
VALERIO, Jacob. Análisis Comparativo de un Edificio Fijo en la Base vs un Edificio  
Aislado Utilizando 4 Tipos de Aisladores Sísmicos. Tesis (magister en Ingeniería  
Estructural). Barcelona: Escola Técnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports,  
2015, 160pp.

ZEGARRA, Sebastián. Análisis Comparativo del Comportamiento Estructural de una  
Edificación Hospitalaria con Aislación y Sin Aislación Sísmica de Base. Tesis (grado de  
Ingeniero Civil). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ingeniería,  
2015, 171pp.

## ANEXOS

**Figura 14**

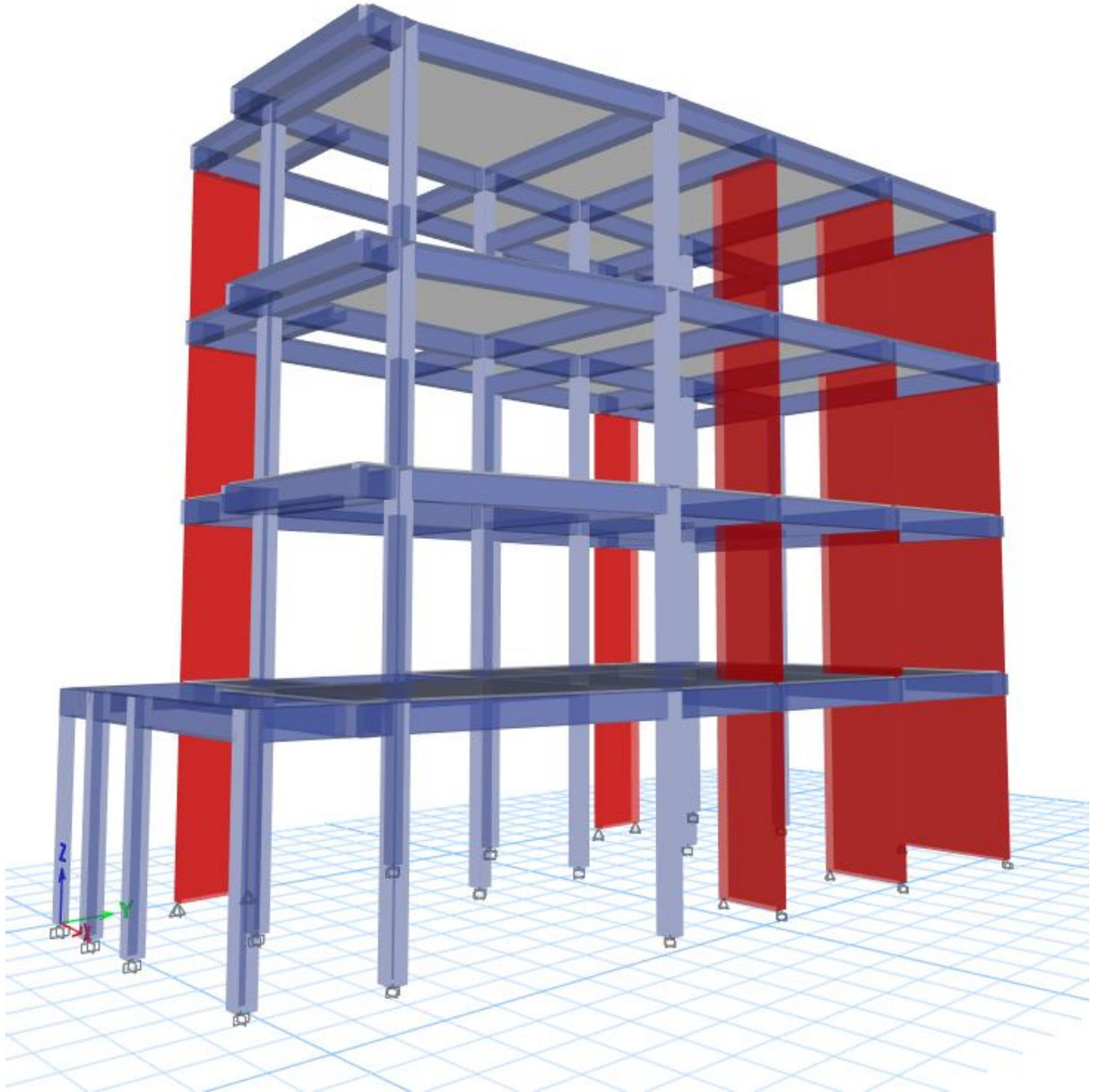
*Elevación del modelamiento estructural.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 15**

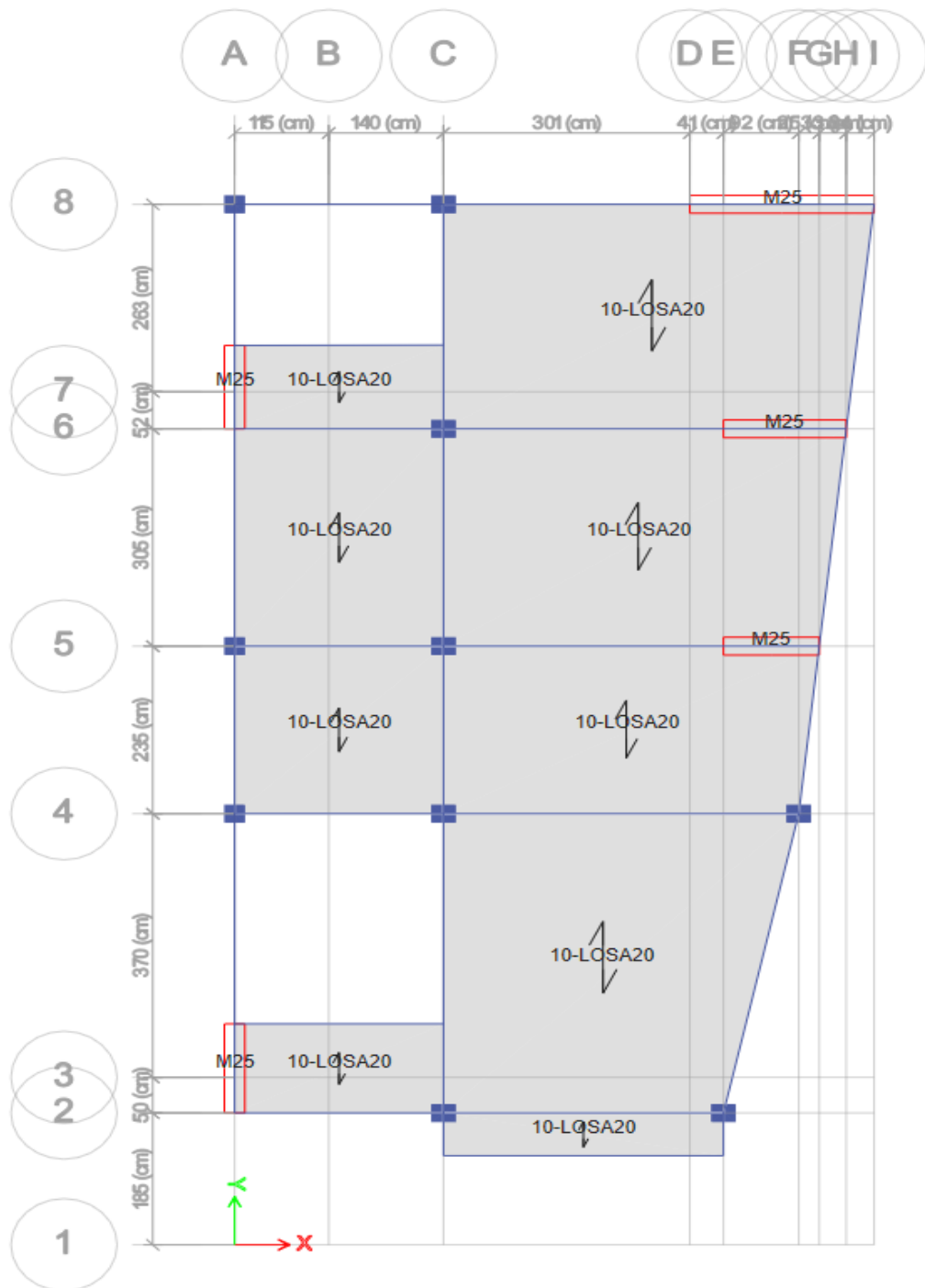
*Elevación del modelamiento estructural lateral.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 16**

*Planta del modelamiento estructural.*



*Nota.* Fuente: Elaboración Propia.