

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO  
SISMORRESISTENTE DE LA INSTITUCIÓN  
EDUCATIVA SANTIDAD JUAN PABLO II  
APLICANDO EL MÉTODO NO LINEAL  
PUSHOVER – LIMA 2021**

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

**Autor:** Bach. Paredes Cerin Oscar Felisario

**Asesor:** Ing. Christian Mallaupoma Reyes

**Líneas de investigación institucional:** Nuevas tecnologías y procesos

**Huancayo - Perú**

**2024**

# HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

---

.....

**PRESIDENTE**

---

.....

**JURADO**

---

.....

**JURADO**

---

.....

**SECRETARIO DOCENTE**

## **DEDICATORIA**

Quisiera expresar mi gratitud a Dios, que es el ser supremo, a mis hijos Daniela y Kenneth, a mi esposa Jaquelin por ser mi fuente de motivación e inspiración, a mi madre Teófila por el don de la vida, y a mis hermanos Epifanía, Cástulo, Percy, Otilio y Wilian por su enorme apoyo y consejo.

Bach. Paredes Cerin Oscar Felisario

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, que siempre me ha guiado por el camino correcto en la vida. A mi familia: gracias por estar siempre a mi lado, por las inestimables lecciones de vida que me habéis enseñado y por no haberme abandonado mientras perseguía mis objetivos profesionales. Gracias, Christian Mallaupoma Reyes, por tu continuo apoyo y confianza a lo largo de los años. A los ingenieros Edison Moscoso Alcántara y Luis Ángel Vega Huamán, que han compartido libremente sus conocimientos y experiencias conmigo durante mis estudios, con el propósito de mejorar mis valores profesionales y éticos y hacer avanzar el campo en aras de la buena ciudadanía. A todos los que siempre han confiado en mí y me han brindado su apoyo, gracias.

Bach. Paredes Cerin Oscar Felisario

# CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0204 - FI -2024

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la **Tesis**; titulada:

## EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA SANTIDAD JUAN PABLO II APLICANDO EL MÉTODO NO LINEAL PUSHOVER-LIMA 2021

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : **Bach. PAREDES CERIN OSCAR FELISARIO**

Facultad : **INGENIERÍA**

Escuela Académica : **INGENIERÍA CIVIL**

Asesor(a) : **Ing. MALLAUPOMA REYES CHRISTIAN**

Fue analizado con fecha **29/05/2024**; con **100 págs.**; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

**Excluye Bibliografía.**

X

**Excluye citas.**

X

**Excluye Cadenas hasta 20 palabras.**

X

Otro criterio (especificar)

El documento presenta un porcentaje de similitud de **21** %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Versión 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.**

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.



Huancayo, 29 de mayo del 2024.

**MTRA. LIZET DORIELA MANTARI MINCAMI**  
**JEFA**

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

## CONTENIDO

CONTENIDO .....	v
CONTENIDO DE TABLAS .....	vii
CONTENIDO DE FIGURAS .....	viii
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	xiii
CAPÍTULO I .....	14
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.1.    Descripción del Problema.....	14
1.2.    Delimitación del Problema .....	15
1.2.1.    Espacial .....	15
1.2.2.    Temporal .....	15
1.2.3.    Conceptual.....	16
1.3.    Formulación del Problema.....	16
1.3.1.    Problema General.....	16
1.3.2.    Problemas Específicos.....	16
1.4.    Justificación .....	17
1.4.1.    Social o práctica .....	17
1.4.2.    Científica o teórica .....	17
1.4.3.    Metodológica.....	17
1.5.    Limitaciones .....	18
1.6.    Objetivos.....	18
1.6.1.    Objetivo General .....	18
1.6.2.    Objetivos Específicos .....	18
CAPÍTULO II.....	19
MARCO TEÓRICO.....	19
2.1.    Antecedentes.....	19
2.2.    Bases teóricas o científicas .....	35
2.2.1.    Método no lineal pushover .....	35
2.2.2.    Desempeño sismorresistente .....	40
CAPÍTULO III.....	47

HIPÓTESIS.....	47
3.1.    Hipótesis .....	47
3.1.1.    Hipótesis General .....	47
3.1.2.    Hipótesis específicas .....	47
3.2.    Variables .....	48
3.2.1.    Definición conceptual de la variable .....	48
3.2.2.    Definición operacional de la variable.....	48
3.3.    Operacionalización de variables .....	49
CAPÍTULO IV.....	50
METODOLOGÍA.....	50
4.1.    Método de investigación.....	50
4.2.    Tipo de investigación.....	51
4.3.    Nivel de investigación .....	51
4.4.    Diseño de investigación.....	51
4.5.    Población y muestra.....	52
4.6.    Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	52
4.6.1.    Técnicas de recolección de datos .....	52
4.6.2.    Instrumentos .....	52
4.7.    Procesamiento de la información .....	53
4.8.    Técnicas y análisis de datos.....	53
CAPÍTULO V.....	54
RESULTADOS.....	54
CAPÍTULO VI.....	81
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	81
CONCLUSIONES .....	86
RECOMENDACIONES.....	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89

## CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	49
Tabla 2. Curva de capacidad para el desempeño totalmente operacional.....	58
Tabla 3. Curva de capacidad para el desempeño operacional .....	63
Tabla 4. Curva de capacidad para el nivel de desempeño de seguridad de vida .....	68
Tabla 5. Curva de capacidad para el desempeño de pre colapso .....	73
Tabla 6. Curva de capacidad para el nivel de desempeño de colapso .....	78
Tabla 7. Curva de capacidad para los niveles de desempeño sismorresistente .....	79



## CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Ilustración del análisis estático no lineal pushover .....	36
Figura 2. Curva de capacidad y espectro de capacidad .....	37
Figura 3. Espectro de demanda.....	38
Figura 4. Punto de desempeño .....	38
Figura 5. Ejemplo del procedimiento de análisis pushover .....	39
Figura 6. Capacidad, demanda y desempeño.....	41
Figura 7. Modelamiento estructural para el nivel de desempeño totalmente operacional.....	55
Figura 8. Adición de espectros para el nivel de desempeño totalmente operacional .....	55
Figura 9. Hojas de cálculo para las direcciones X y Y en el nivel de desempeño totalmente operacional.....	56
Figura 10. Curvas una vez con el modelo corrido en el nivel de desempeño totalmente operacional.....	56
Figura 11. Sectorizar por porcentajes según indica la norma para ciertos años en el nivel de desempeño totalmente operacional.....	57
Figura 12. Desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años indicados en el nivel de desempeño totalmente operacional.....	57
Figura 13. No hay rótulas plásticas en ningún Step en el nivel de desempeño totalmente operacional.....	58
Figura 14. Norma ATC-40 para su interpretación en el nivel de desempeño totalmente operacional.....	59
Figura 15. Modelamiento estructural para evaluar en el nivel de desempeño operacional .....	59
Figura 16. Adición de espectros para evaluar en el nivel de desempeño operacional.....	60
Figura 17. Hojas de cálculo para cada dirección “X” e “Y” para evaluar en el nivel de desempeño operacional.....	61
Figura 18. Obtención de las curvas una vez con el modelo corrido para evaluar en el nivel de desempeño operacional.....	61
Figura 19. Sectorización por porcentajes según indica la norma para ciertos años para evaluar en el nivel de desempeño operacional. ....	62
Figura 20. Obtención de los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años para evaluar en el nivel de desempeño operacional .....	62
Figura 21. Análisis de rótulas plásticas en el nivel de desempeño operacional .....	63

Figura 22. Norma ATC-40 para su interpretación en el nivel de desempeño operacional.....	64
Figura 23. Modelamiento estructural en el nivel de desempeño de seguridad de vida .....	64
Figura 24. Adición de espectros en el nivel de desempeño de seguridad de vida .....	65
Figura 25. Hojas de cálculo para cada dirección “X” e “Y” para evaluar en el nivel de desempeño de seguridad de vida.....	66
Figura 26. Obtención de las curvas una vez con el modelo corrido para evaluar en el nivel de desempeño de seguridad de vida.....	66
Figura 27. Sectorización por porcentajes según indica la norma para ciertos años para evaluar en el nivel de seguridad de vida.....	67
Figura 28. Obtención de los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años para evaluar en el nivel de seguridad de vida.....	67
Figura 29. Análisis de rótulas plásticas en el nivel de desempeño de seguridad de vida .....	68
Figura 30. Norma ATC-40 para su interpretación en el nivel de seguridad de vida .....	69
Figura 31. Modelamiento estructural para evaluar en el nivel de desempeño de pre colapso.	69
Figura 32. Adición de espectros para evaluar en el nivel de desempeño de pre colapso .....	70
Figura 33. Hojas de cálculo para cada dirección “X” e “Y” para evaluar en el nivel de desempeño de pre colapso .....	71
Figura 34. Obtención de las curvas una vez con el modelo corrido para evaluar en el nivel de desempeño de pre colapso .....	71
Figura 35. Sectorización por porcentajes según indica la norma para ciertos años para evaluar en el nivel de desempeño de pre colapso .....	72
Figura 36. Obtención de los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años para evaluar en el nivel de desempeño de pre colapso .....	72
Figura 37. Análisis de rótulas plásticas en el nivel de desempeño de pre colapso .....	73
Figura 38. Norma ATC-40 para su interpretación en el nivel de desempeño de pre colapso .	74
Figura 39. Modelamiento estructural en el nivel de desempeño de colapso .....	74
Figura 40. Adición de espectros en el nivel de desempeño de colapso .....	75
Figura 41. Hojas de cálculo para cada dirección “X” e “Y” para evaluar en el nivel de desempeño de colapso.....	75
Figura 42. Obtención de las curvas una vez con el modelo corrido para evaluar en el nivel de desempeño de colapso.....	76
Figura 43. Sectorización por porcentajes según indica la norma para ciertos años para evaluar en el nivel de colapso .....	77

Figura 44. Obtención de los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años para evaluar en el nivel de desempeño de colapso. ....	77
Figura 45. Análisis de rótulas plásticas en el nivel de desempeño de colapso .....	78
Figura 46. Norma ATC-40 para su interpretación en el nivel de desempeño de colapso.....	79
Figura 47. Curva de capacidad niveles de desempeño sismorresistente.....	80

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como problema de investigación: ¿Cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023?, el objetivo fue: Determinar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023. La hipótesis fue que: Los resultados del método no lineal pushover serían significativos en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023. La investigación fue de método científico, tipo aplicada, cuyo nivel de investigación fue explicativo y tuvo un diseño experimental; ya que hubo manipulación deliberada de la variable en estudio. La población estuvo constituida por las instituciones educativas localizadas en el distrito de San Juan de Lurigancho de la provincia de Lima, departamento de Lima. La muestra estuvo conformada por la institución educativa su Santidad Juan Pablo II, del distrito de San Juan de Lurigancho de la provincia de Lima, departamento de Lima. Se tuvo un muestreo no probabilístico del tipo intencional. La conclusión más importante fue que de los resultados del nivel de seguridad de la vida humana serían conformes con la norma ATC-40 (1996). Esta norma es un conjunto de procedimientos que se utilizan para evaluar los edificios existentes en caso de un seísmo máximo previsto durante la vida útil de la estructura (un seísmo con una probabilidad de ocurrencia del 5% en cincuenta años) y un seísmo de diseño (un seísmo con una probabilidad de ocurrencia del 10% en cincuenta años).

*Palabras clave:* Método no lineal, pushover, desempeño, sismorresistencia.

## ABSTRACT

The research problem of the present investigation was: What would be the results of the nonlinear pushover method in the seismic-resistant performance levels of the Santidad Juan Pablo II educational institution in the city of Lima in the year 2023? The objective was: To determine what would be the results of the nonlinear pushover method in the seismic-resistant performance levels of the Santidad Juan Pablo II educational institution in the city of Lima in the year 2023. The hypothesis was that: The results of the nonlinear pushover method would be significant in the seismic-resistant performance levels of the Santidad Juan Pablo II educational institution of the city of Lima in the year 2023. The research was of scientific method, applied type, whose research level was explanatory and had an experimental design; since there was deliberate manipulation of the variable under study. The population consisted of the educational institutions located in the district of San Juan de Lurigancho in the province of Lima, department of Lima. The sample consisted of the educational institution His Holiness John Paul II, in the district of San Juan de Lurigancho in the province of Lima, department of Lima. The sample was non-probabilistic and purposive. The most important conclusion was that the results of the level of safety of human life would be in accordance with the ATC-40 standard (1996). This standard is a set of procedures used to evaluate existing buildings in case of a maximum expected earthquake during the lifetime of the structure (an earthquake with a 5% probability of occurrence in fifty years) and a design earthquake (an earthquake with a 10% probability of occurrence in fifty years).

*Keywords:* Nonlinear method, pushover, performance, seismic resistance.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación tuvo como objetivo: Determinar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023, por ello esta investigación se realizó para mostrar las ventajas de emplear el enfoque no lineal pushover, ya que aparece como una alternativa a los complejos métodos de análisis estructural para evaluar los daños de estructuras que incurren en comportamientos inelásticos. El enfoque pushover fue el impulsor de la investigación ya que simplifica en gran medida algunos criterios y facilita enormemente los procedimientos dinámicos paso a paso.

Para el adecuado desarrollo de esta investigación, estuvo estructurado en 06 capítulos, que se describen a continuación:

Capítulo I: Planteamiento del problema: En este capítulo se describió el planteamiento del problema, formulación del problema, justificación, delimitaciones, limitaciones y objetivos de la investigación.

Capítulo II: Marco teórico: En este capítulo se desarrolló los antecedentes y bases teóricas o científicas.

Capítulo III: Hipótesis: Señala las hipótesis y variables de la investigación.

Capítulo IV: Metodología: Aquí se desarrolló el método de investigación, tipo, nivel y diseño de investigación, población, muestra, técnicas e instrumentos de recopilación de datos, técnicas y análisis de datos.

Capítulo V: Resultados: En este acápite se mostró los resultados de la investigación.

Capítulo VI: Análisis y discusión de resultados: En este acápite se mostró las discusiones de los resultados obtenidos en la investigación.

Finalmente, se expuso las conclusiones, recomendaciones, referencias, bibliografías y anexos.

Bach. Paredes Cerin Oscar Felisario

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del Problema

Las técnicas de diseño estándar, como las descritas en la norma AIS 114-17, que se basan en la resistencia estructural, no garantizan que las estructuras funcionen según lo previsto cuando se trata de las exigencias de la actividad sísmica. Esto es cierto no sólo en Colombia, sino también en otras partes del mundo. No hay ninguna garantía de que las estructuras funcionen según lo previsto, aunque estas técnicas sean sencillas y bastante conservadoras. Esto significa que una edificación diseñada para cumplir con los requisitos de desempeño debe ser lo suficientemente resistente para sobrevivir al colapso de la estructura en caso de un sismo fuerte, pero también debe tener en cuenta aspectos de uso y habitabilidad de la edificación que cumplan con los requisitos sísmicos establecidos. Por esta razón, es imperativo que comprenda plenamente los pasos que se describen en la AIS número 114-17. Además, es útil observar el rendimiento de los edificios que se construyeron utilizando los requisitos mínimos especificados en ese libro. Los edificios deben evaluarse utilizando diversos criterios para determinar su riesgo sísmico y su rendimiento. Esto le permitirá abordar cualquier daño estructural y la rehabilitación de una manera más exhaustiva en caso de que se produzca un evento sísmico mayor que aquel para el que fue construido. Además, la idea de «diseño para el rendimiento» puede aplicarse a las estructuras para abordar su comportamiento estructural. Cuando las estructuras están expuestas a terremotos, esta estrategia puede tener más éxito a la hora de dispersar la resistencia a la demanda de sus partes constituyentes (Segura, 2021).

Dado que los desastres siguen ocurriendo en todo el mundo, es imperativo que encontremos formas eficaces de contrarrestar este fenómeno natural. Los desastres a nivel nacional siguen ocurriendo. La ciudad de Cajamarca ha realizado un gran trabajo para mitigar

los efectos catastróficos que tienen los sismos en una comunidad. Esto significa que la principal causa de pérdidas, tanto en términos de cantidad de dinero perdido como de número de vidas perdidas, es el colapso y la destrucción de estructuras vulnerables a la actividad sísmica. El creciente número de personas que viven en zonas urbanas ha hecho necesaria la construcción de infraestructuras para diversos usos, como vivienda, comunicación, transporte, sanidad, educación y refuerzo de las operaciones empresariales. Aunque esto ha ocurrido, no ha habido mucha coordinación entre el aumento de los bienes expuestos y las consideraciones de diseño sismorresistente en la construcción de infraestructuras. Esto ha llevado a un aumento de los terremotos, que a menudo resultan en catástrofes catastróficas, en la actualidad (Mires, 2019). Esta situación se debe al aumento del número de obras de infraestructura que no incluyen medidas de seguridad sísmica.

Es muy posible que la situación sea aún más grave cada vez que se produzca un terremoto de magnitud significativa en Lima, dado que la mayoría de los edificios más antiguos de la ciudad son estructuras esenciales. La institución educativa Su Santidad Juan Pablo II, ubicada en la zona de San Juan de Lurigancho, es una de las construcciones que presenta defectos estructurales en varias ocasiones. A pesar de ello, la administración local no ha hecho ningún esfuerzo por solucionar la situación en ningún sentido. Para analizar el comportamiento sismorresistente de la estructura, se aplica un análisis estático no lineal de cedencia consecutiva, que a veces se denomina análisis pushover. Este estudio se utiliza para determinar la capacidad de la estructura. Además, es útil para predecir los componentes que pueden estar a punto de romperse, el desplazamiento inelástico del mecanismo de fallo y la ductilidad de la estructura a distintos niveles de tensión sísmica.

## **1.2. Delimitación del Problema**

### **1.2.1. Espacial**

Para efectos de esta investigación, se eligió como lugar de estudio el distrito de San Juan de Lurigancho, ubicado dentro del departamento y provincia de Lima.

### **1.2.2. Temporal**

La investigación se realizó aproximadamente entre los años 2022 y 2023 según las estimaciones.



### **1.2.3. Conceptual**

Dado que estas son las dos variables que se investigaron en el transcurso de la investigación, la ejecución del proyecto tuvo como finalidad establecer el desarrollo del método pushover no lineal así como el comportamiento sismorresistente.

## **1.3. Formulación del Problema**

### **1.3.1. Problema General**

¿Cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023?

### **1.3.2. Problemas Específicos**

- a) ¿Cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño totalmente operacional de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023?
- b) ¿Cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño operacional de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023?
- c) ¿Cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de seguridad de vida de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023?
- d) ¿Cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de pre colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023?
- e) ¿Cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023?

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Social o práctica**

Es fundamental reconocer que los proyectos de investigación de pregrado suelen ser ventajosos (Fernández, 2020). Un estudio de investigación tiene la capacidad de proporcionar una perspectiva más completa y de avanzar directa o indirectamente en la indagación de la cuestión objeto de estudio. Es fundamental recordar que se considera que un estudio tiene una función práctica cuando su avance contribuye a la solución de un problema o, como mínimo, ofrece recomendaciones que, si se ponen en práctica, contribuirán a la solución de un problema. El objetivo de este estudio era ilustrar las ventajas de aplicar el enfoque pushover no lineal, que parece ser un sustituto de técnicas de análisis estructural más complejas a la hora de evaluar los daños en estructuras que presentan un comportamiento inelástico. La técnica pushover sirvió de impulso para la investigación, ya que agiliza notablemente las operaciones dinámicas paso a paso y simplifica significativamente varios criterios.

### **1.4.2. Científica o teórica**

Para dar una justificación teórica, hay que dar una sinopsis de las lagunas de conocimiento actuales que la investigación intentará colmar. Es evidente que muchas revistas tienen una parte donde se busca la importancia de la investigación; la fundamentación teórica es el principal elemento que responde a la necesidad de justificar la importancia. Existen varias estrategias que pueden ser utilizadas, según Alvarez (2020), para fundamentar la importancia teórica de los datos. Esta investigación se realizó porque, al ser considerados a través del prisma de las normas peruanas, los datos sustentan la validez de la teoría actual. Este enfoque se basa en el punto de desempeño estructural, que puede determinarse comparando los espectros de demanda y diseño. La base de este enfoque es la comparación de los espectros de diseño y de demanda. Esto permite obtener información sobre el posible índice de daños que puede generarse al desplazar las estructuras en respuesta a las fuerzas sísmicas aplicadas en una cantidad determinada.

### **1.4.3. Metodológica**

De acuerdo con la investigación de Rincón 2020, se fundamenta en la forma en que los instrumentos, modelos, enfoques de investigación o metodologías novedosos contribuyen a la generación de conocimiento legítimo y fiable. Cuando se confirmó su validez y fiabilidad, se utilizaron en otras iniciativas de investigación que se estaban llevando a cabo.

Para explorar las condiciones que pueden ser investigadas por la ciencia, sería útil que cualquier otro investigador diseñara y aplicara el equipo de recopilación de datos para los niveles de rendimiento sismorresistente de la institución educativa. Esto sería algo valioso para cualquier otro investigador.

## **1.5. Limitaciones**

No se tuvieron limitaciones trascendentales.

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo General**

Determinar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.

### **1.6.2. Objetivos Específicos**

- a) Analizar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño totalmente operacional de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.
- b) Analizar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño operacional de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.
- c) Analizar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de seguridad de vida de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.
- d) Analizar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de pre colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.
- e) Analizar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **Antecedentes internacionales**

Segura (2021) se propuso examinar el comportamiento sísmico de dos estructuras con grados similares de disipación de energía (DES) en cuanto a su disposición geométrica en planta y altura, y que estaban situadas en una zona de alto peligro sísmico. Las estructuras estaban situadas en una zona de alto riesgo sísmico. Se aplicó el método de análisis estático no lineal (pushover). Este estudio era de carácter descriptivo y no empleaba métodos ni instrumentos de experimentación. Además, se utilizó la guía de observación como herramienta de control complementaria al enfoque observacional. Para crear la población se utilizó el edificio construido siguiendo los procedimientos recomendados en la norma AIS 114-17. Para reunir la muestra se utilizaron métodos de muestreo probabilístico y de censo. El descubrimiento más importante fue que los valores de aceleración del terreno para terremotos con periodos de retorno de 975 años (con una probabilidad del 5% de superar el umbral en 50 años) o 2475 años (con una probabilidad del 5% de superar el umbral en 50 años) no están previstos en la normativa vigente en Colombia. El descubrimiento más importante fue éste. Sin embargo, los valores de la aceleración del terreno pueden determinarse utilizando la ecuación de expresión empírica (114). Es factible obtener alguna información sobre la relación entre las aceleraciones del terreno y los tiempos de retorno de los terremotos. Un terremoto con un periodo de retorno de 475 años y una aceleración del terreno de 0,65 g produciría una aceleración de 0,866 g durante un periodo de retorno de 975 años. Dicho de otro modo, la aceleración sería igual a 0,866 g. Las estructuras se clasificarían en el grupo de uso III (con un coeficiente de significación de 1,25) a la luz de esta aceleración. Esto lleva a la conclusión de

que una aceleración del suelo de 1,25 g sería adecuada para un período de retorno de 2475 años. La estructura podría clasificarse como miembro del grupo de uso IV si su coeficiente de significación fuera de 1,5. Se determinó que la mejor manera de terminar el diseño de los componentes estructurales del Edificio nº 1 es utilizar la metodología de diseño descrita en la norma AIS 114-17. El hecho de que las técnicas y procesos descritos en la norma AIS 114-17 resulten ser los más eficaces no debe sorprender. Aunque está claro que los métodos y procedimientos utilizados en la AIS 114-17 son sencillos y fáciles de entender, se necesita una cantidad considerable de tiempo y recursos de hoja de cálculo para completar las tareas de evaluación de cargas, cálculo de la demanda sísmica y diseño de elementos estructurales. Esto contrasta con el uso de software especializado, que permite realizar análisis de cargas en estructuras de forma más rápida y despreocupada.

El trabajo de Mejía y Rivera (2020) tuvo como objetivo aplicar el enfoque de control de desplazamientos a la técnica de análisis estático no lineal (Pushover) en un edificio de  $n$  pisos. También quisieron profundizar en el planteamiento que se hizo con esta metodología. Este estudio fue de naturaleza descriptiva y no utilizó ningún método experimental. Además del enfoque observacional, se utilizó la guía de observación como herramienta de control. Los individuos que componían la población eran. En el edificio hay  $n$  plantas. La muestra se obtuvo mediante censo y muestreo probabilístico. Cuando se aplican a construcciones con sistemas estructurales irregulares, los enfoques lineales pueden ser increíblemente imprecisos, a menos que el edificio pueda reaccionar de forma cuasi-elástica a los terremotos de diseño. Este fue el descubrimiento más significativo de la investigación. Por este motivo, los edificios excesivamente irregulares no tienen en cuenta el análisis lineal. A pesar de estos inconvenientes, el modelo lineal se utiliza a menudo en los cálculos de diseño debido a su capacidad para aproximar bastante bien el comportamiento inicial del sistema estructural. Esta sección sirve como representación del rango operativo o de servicio para varias estructuras, al igual que el modelo lineal. Se ha comprobado que las limitaciones de la técnica de fuerzas impiden realizar un análisis exhaustivo de la estructura. La razón es que el algoritmo utilizado en este método se basa en la inversión de la matriz de rigidez para obtener los desplazamientos en función del incremento constante de la fuerza. Cuando el análisis se aproxima al punto límite surgen una serie de dificultades conexas. Estos problemas implican la formación de bifurcaciones que exageran o subestiman el verdadero comportamiento de la estructura, o incluyen la construcción de un comportamiento incompleto de la estructura. Sin embargo, el método de control del desplazamiento permite averiguar la curva de capacidad completa de las

ramas ascendentes y descendentes del árbol. Esta metodología se utiliza porque se basa en conseguir un ascenso o descenso de la carga, contingente a un aumento continuo de los desplazamientos, hasta que la estructura se aproxima al punto en el que colapsa.

Mediante el contraste de los resultados de tres análisis distintos -análisis dinámico no lineal (Response History), análisis estático modal (Multimodal Pushover) y análisis estático no lineal (Pushover)-, Galorza (2019) evaluó el comportamiento sísmico del edificio Oscus. A lo largo de la investigación se utilizaron enfoques tanto experimentales como descriptivos. Tanto el aparato como el método observacional se utilizaron junto con la guía de observación. Los individuos se alojaron en una estructura de hormigón armado de diez plantas y sótano. Se utilizó el censo como muestra, y la técnica empleada se denominó muestreo probabilístico. En la curva de capacidad se observan dos resultados importantes: en primer lugar, muestra un esfuerzo cortante basal de 366,49Tn con un desplazamiento de 0,18 m en la dirección X, y en segundo lugar, muestra un esfuerzo cortante basal de 352,20Tn con un desplazamiento de 0,20 m en la dirección Y. Estos son los resultados más importantes. En ambas cizalladuras se produce un desplazamiento de 0,18 metros. El desplazamiento máximo del escenario PushX es de 0,18 metros, inferior al desplazamiento deseado de 0,31 metros, como muestra la bilinearización de la curva de capacidad. Además, el desplazamiento máximo del escenario PushX es de 0,20 metros, inferior a los 0,34 metros de desplazamiento previstos. Los desplazamientos que se comparan son ambos inferiores al desplazamiento deseado. La combinación modal de las curvas de capacidad que realizó CQC muestra que hay un desplazamiento de 0,22 metros en la dirección Y para el cortante basal 654,47 Tn y, al mismo tiempo, hay un desplazamiento de 0,24 metros en la dirección X para el cortante basal 788,59 Tn. Esto llevó a la decisión de que el NEC-SE-RE, que se utiliza para establecer el objetivo de comportamiento de las grandes estructuras, se verificara en dos niveles de terremoto diferentes: extremadamente raro (extremo) y extremadamente raro (fuerte). Sin embargo, dado que el edificio asociado al terremoto inusual ya había mostrado signos de colapso potencial, no hubo necesidad de una segunda ronda de inspección.

Utilizando una técnica de análisis estático no lineal conocida como «Pushover», Duarte et al. (2017) buscaron evaluar el comportamiento estructural y la funcionalidad del Cuerpo Central del edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador. En esta investigación aplicada no se realizaron experimentos. Se utilizó la guía de observación para asegurar que tanto el instrumento como el procedimiento de observación fueran utilizados

correctamente. La mayor parte del edificio de la Facultad de Medicina de la Universidad de El Salvador constituyó la población. La muestra en cuestión fue censal y se aplicó una técnica de muestreo no probabilístico. El número de modos de vibración de la estructura necesarios para que al menos el 90% de la masa total se moviera en dirección ortogonal y horizontal durante el terremoto, así como los tiempos correspondientes a dichos movimientos, fueron los descubrimientos más significativos. El modelo de hormigón confinado creado por Mander se utilizó para definir la curva tensión-deformación del material. Este modelo se distingue por una curva continua que tiene en cuenta el hecho de que el efecto de confinamiento aumenta la capacidad de deformación del hormigón, así como su resistencia a la compresión. Para construir la armadura se utilizó el modelo por defecto de la herramienta de análisis estructural SAP2000, el modelo cinemático histerético. Para el hormigón se creó este modelo. Se basa en la propiedad de endurecimiento cinemático que se observa con frecuencia en los metales. La curva tensión-deformación se examinó utilizando el modelo de Park para tener en cuenta la propensión del material a endurecerse.  $T_e$  es igual a 0,6179 y  $T_s$  es igual a 0,6 segundos, por lo que se cumple la condición de que 0,6179 segundos es mayor que 0,6 segundos. En consecuencia,  $C_1$  toma el valor de 1,0. Para la respuesta de desplazamiento máximo, los efectos de la degradación de la rigidez, la pérdida de resistencia y la estrangulación del ciclo histerético se tienen en cuenta mediante el factor de modificación, también conocido como coeficiente  $C_2$ . El valor que FEMA aconseja utilizar para procesos no lineales es  $C_2 = 1,0$ . Para construcciones en las que la rigidez posterior al flujo supere el cinco por ciento de la rigidez elástica ( $\alpha$ ) de la estructura, se asigna un valor de 1,0 a  $C_3$ . Las tensiones y deformaciones en la sección central del edificio de la facultad de medicina se localizaron y examinaron mediante técnicas analíticas de análisis matricial (MEA) y método de los elementos finitos (MEF). Estos métodos necesitaban un gran número de cálculos numéricos y fueron creados internamente por SAP2000. Al añadir características que reflejaban el modelo computacional a las condiciones reales del edificio, se produjo un comportamiento más realista al crear el modelo del edificio en SAP2000. Esto incluía elementos como la geometría, las cargas, los materiales, los daños y el tamaño y la cantidad de acero expuesto a los elementos.

Salcedo (2017) evaluó el desempeño sísmico de una edificación en la ciudad de Barranquilla utilizando la norma NSR-10. Así se utilizó la técnica Pushover. La investigación fue tanto experimental como aplicada. Más allá del enfoque observacional, la guía de observación sirvió como herramienta adicional de seguimiento. El proyecto de construcción de Barranquilla, que hizo uso del diseño estructural basado en el rendimiento, produjo la

población. La muestra procedía de un censo, y para elegirla se utilizó un muestreo no probabilístico. Los resultados más importantes fueron que, a pesar de la incapacidad de la nueva modelación para acceder al modelo del estimador estructural, se pudieron encontrar similitudes entre los datos que produjo y analizó y los datos de las memorias de diseño. Esto sugiere que existen muchas similitudes entre el modelo recién creado y el generado por el calculador estructural. Era esencial modelizar los datos y hacerlos notablemente similares a los del estudio real, ya que existía la posibilidad de que las diferencias de datos entre las memorias y el nuevo modelo se debieran a criterios diferentes en la distribución de las cargas estructurales. La mayor parte de los elementos estructurales tienen contenidos de acero en sus columnas muy próximos al 1%, con algunas excepciones que tienen niveles de acero en torno al 1,5%. Los elementos estructurales son totalmente coherentes con la verificación. El acero de las fotos de despiece y el acero utilizado para el modelado son comparativamente similares. Este acero es necesario para los elementos de las vigas. La decisión tomada fue que el edificio funcionará a su nivel de ocupación instantáneo en caso de terremoto de diseño; en caso de terremoto de gran magnitud, se prevé la reocupación inmediata; y se prevén daños menores en los elementos estructurales. Después de un sismo, se espera que algunos sistemas requieran limpieza y posiblemente reparación.

Utilizando el método analítico no lineal PUSH-OVER, Lara (2021) determinó el coeficiente de capacidad de disipación  $R$  para una estructura de hormigón armado mediante la aplicación de un enfoque de diseño basado en el comportamiento sísmico. Esto se hizo para determinar el comportamiento real y el nivel de desempeño de la estructura con relación a la demanda sísmica de la ciudad investigada. Esta investigación empleó una metodología descriptiva en contraposición a las técnicas experimentales. Además del enfoque observacional, la guía de observación sirvió como herramienta de control. El edificio de hormigón armado de diez plantas albergaba las dependencias de los ocupantes. Se utilizó una técnica de muestreo probabilístico para seleccionar una muestra para el censo. El hallazgo más significativo fue que la inspección inicial de la estructura se realizó de acuerdo con las directrices proporcionadas en el Apéndice A-3.2.2.2 de la NSR-10. Al calcular las consecuencias del sismo, se tuvo en cuenta una carga viva de al menos el 25% para la zona de cada nivel. También se tuvieron en cuenta las permutaciones relativas a la carga muerta de la estructura. Durante la construcción, la estructura estuvo sometida a fuerzas correspondientes al centro de masa de cada piso. Las tensiones laterales aumentaron gradualmente. Los resultados indicaron que los componentes estructurales demostraron una conformidad



impecable con las cargas y resistencias a las que se enfrentaban. De forma similar, al evaluar las consecuencias de los terremotos, se incluyó una carga viva de al menos el 25% para el espacio de una sola planta. Esto se hizo teniendo en cuenta las diferentes cargas muertas sobre la estructura. Las fuerzas aplicadas a la estructura del edificio coincidían con el centro de masa de cada planta. La susceptibilidad sísmica de una estructura existente se evaluó utilizando metodologías de comportamiento tras la aplicación del enfoque analítico no lineal PUSH-OVER. Esta fue la inferencia realizada utilizando los métodos de investigación. La capacidad de disipación de energía (R) para los patrones de carga Dx-Modal y Dy-Modal fue de 1,38 y 1,73, respectivamente. Dado que estos resultados son inferiores al valor mínimo indicado en la Tabla A.3-3 de la NSR-10 para estructuras de pórticos (2,5), demuestran que la estructura examinada es capaz de soportar las tensiones impuestas por el diseño.

Páramo y Villegas (2021) tuvieron como objetivo evaluar el desempeño sísmico de las viviendas de emergencia construidas por la Fundación Techo en las localidades de Ciudad Bolívar y Usme en Bogotá, considerando varias posibles áreas de mejora. Se trató de una investigación descriptiva sin diseño experimental. Junto con el enfoque observacional, se empleó un instrumento de seguimiento: la guía de observación. Sus integrantes fueron las personas con necesidad de alojamiento temporal. Para elegir la muestra se utilizó un censo y un muestreo probabilístico. El único modelo que satisface las necesidades de los tipos de suelo existentes en Ciudad Bolívar y Usme es el modelo 8, una mejora recomendada que incorpora la adaptación de secciones transversales de 20 x 20 cm de arriostramiento de madera. Como resultado, sólo este modelo específico se puede utilizar para determinar los puntos de rendimiento. Este fue el descubrimiento más significativo de los nueve modelos estudiados. Los dos primeros modelos representan las estructuras que Techo está creando actualmente. Como resultado, es sencillo inferir y demostrar que Colombia se está quedando atrás con respecto a otras naciones en el «campo de la investigación» y «áreas de la ingeniería estructural y sísmica en general» cuando se trata de avances tecnológicos. La decisión se tomó porque no existe suficiente material de referencia sobre el uso del software de investigación OpenSees en Colombia y otros países de América Latina. No hay muchas publicaciones disponibles sobre este software, y las que había eran escritas por individuos de países desarrollados.

Acevedo (2020) se propuso estudiar el comportamiento sísmico de estructuras de acero utilizando dispositivos de disipación de energía tipo mariposa en diafragmas compuestos. Esta evaluación haría uso de aplicaciones de simulación por elementos finitos. Este estudio no

empleó técnicas experimentales, sino que fue de naturaleza descriptiva. La guía de observación sirvió como herramienta de control además del método observacional. El sistema vertical de resistencia a fuerzas laterales, o VLFRS, fue el término utilizado para describir la población que se pudo encontrar. Para crear la muestra se utilizó el muestreo probabilístico y los datos censales. Las variables dependientes, que representan los desplazamientos, la disipación de energía, las fuerzas inerciales o restauradoras y las deformaciones de los elementos, produjeron los resultados más significativos. La interpretación de los datos y la creación de los correspondientes gráficos de comportamiento estructural se completan con la ayuda de la información recopilada. Hasta ahora, el único proceso que se ha divulgado es el examen de una única muestra seleccionada para la investigación paramétrica. Una vez alcanzado el tamaño de muestra de 1000 muestras del campo aleatorio, se procede a evaluar las variables independientes de forma aleatoria. El procedimiento de análisis estructural se repite entonces 1000 veces hasta que el prototipo con una configuración estructural general está representado por 1000 casos evaluados, o 1000 combinaciones distintas de las propiedades mecánicas del sistema estructural. Se descubrió que las derivas y los desplazamientos en los edificios suelen examinarse en los lugares donde los sistemas de resistencia lateral vertical conectan con los diafragmas. A raíz de ese fallo, se decidió lo siguiente. Se demostró que las derivas y los desplazamientos se reducían con el FES del diafragma, según un análisis de los datos. Además, se descubrió que una cantidad significativa de las deformaciones inelásticas que se concentraban en el SRFLv en la construcción convencional empleando el SEAD estaban presentes en los dispositivos de disipación de energía.

La investigación de Calo (2018) sobre el comportamiento sísmico de edificios de pórticos de acero arriostrados excéntricamente utilizó uniones cortas que se fabricaron de acuerdo con la norma NCh433. Durante la investigación no se realizaron experimentos, sino que se aplicó. Tanto el aparato como el método de observación se orientaron en la dirección adecuada con ayuda de la guía de observación. Nueve arquetipos componían la población, y cada uno correspondía a uno de los números siguientes: 1, 2, 3, 5, 6, 8, 8, 12 y 16 pisos que formaban parte del área de diseño. El censo fue la muestra en cuestión, y la estrategia de muestreo que se aplicó excluyó la probabilidad. El desplazamiento de fluencia efectivo para cada arquetipo se indica mediante  $\delta y_{eff}$ , y es marginalmente mayor que el desplazamiento en el que se produce el cambio de rigidez inicial. El desplazamiento objetivo, denotado por  $\delta t$  y generalmente mayor que el desplazamiento de fluencia, también fue demostrado por cada grupo de rendimiento. En comparación con los otros resultados, estos dos fueron más

significativos. Es razonable concluir que la estructura ha entrado en el rango no lineal como resultado de la demanda sísmica ya que  $\delta t$  es mayor que  $\delta y_{eff}$ , lo cual es algo que no ocurre bajo condiciones específicas (NCh433). Entre los arquetipos que están presentes en estos escenarios se encuentran a1\_Z3E, a2\_Z1E, a1\_Z3B y a2\_Z1C. Estos arquetipos se refieren a modelos con un nivel entre uno y dos, y presentan sobreesfuerzos elevados (superiores a 10). Se cree que todas las estructuras experimentan una deriva del techo de alrededor del 1%, o cinco veces el límite NCh433 de 0,02 [rad]. Las cifras expuestas anteriormente lo demuestran. Según los detalles proporcionados en la sección 5.3, existen numerosos métodos para satisfacer el requisito de colapso. El hecho de que se rompieran las restricciones rotacionales establecidas para los eslabones fue el elemento más significativo en este caso concreto. En consecuencia, cuando las curvas de capacidad alcanzan la rotación límite de las conexiones cortas, los valores de  $V_{max}$  y  $\delta m$  representarán los mayores cortantes y desplazamientos encontrados durante el análisis. Esto se debe específicamente a que hay una notable falta de caída de resistencia en las curvas de capacidad. Para asegurar la precisión y cumplir con ASCE 41-13, el análisis se realizó al menos hasta el desplazamiento objetivo ( $m_i$ ). Se constató que las experiencias del sector de la construcción a lo largo de varias décadas, junto con las investigaciones realizadas sobre el uso adecuado de los edificios de acero, fueron las fuerzas impulsoras del crecimiento de las estructuras de acero. Como resultado de estas condiciones, se han desarrollado numerosos mecanismos estructurales de acero. Un ejemplo de ello es el armazón arriostrado excéntricamente, que combina las ventajas de los armazones arriostrados concéntricamente - que proporcionan la condición opuesta (es decir, una fuerte rigidez lateral)- con las ventajas de los armazones no arriostrados, que suelen estar limitados en términos de diseño debido a la distorsión del suelo. He aquí un ejemplo de cómo lograrlo con este armazón.

Con el fin de desarrollar un sistema sismorresistente para una estructura, Ortiz (2018) estudió la posibilidad de integrar pórticos arriostrados con sistemas de pandeo contenido. Considerando que el estudio fue de carácter descriptivo, no se realizaron ensayos. Con la ayuda de la guía de observación, tanto el instrumento como el método de observación se orientaron en la dirección correcta. Los individuos se reunieron para formar la población, que era un edificio construido para evitar terremotos. La composición de la muestra se determinó mediante el uso del método de muestreo probabilístico. El resultado fue una deriva del suelo del 1,6% para un diseño en chevron y del 2% para una disposición en diagonal. El descubrimiento más importante fue que las deformaciones máximas del arriostramiento conducían a un comportamiento histerético constante. Este fue el hallazgo más destacable. Este fue el hallazgo

más significativo que se realizó. El inconveniente más significativo fue que la riostra D4 dentro de la zona del núcleo, que era distinta de la zona del armazón, falló debido a la aparición de pandeo local. Con el fin de evitar el fallo en los demás arriostramientos, se colocaron dos arriostramientos deslizantes cerca del extremo de las conexiones. Este procedimiento se adoptó con la intención de impedir que el núcleo se desplazara lateralmente en cualquier dirección. Se comprobó que uno de los arriostramientos investigados mostraba constantemente actividad histerética. Para eliminar los ciclos primero y último del gráfico, se decidió eliminarlos debido a su comportamiento distintivo en comparación con los demás ciclos. Las líneas que aparecen discontinuas son una representación del ciclo de histéresis ideal, y se pusieron de forma que resultaran más fáciles de leer. Además, se utilizaron galgas extensométricas que estaban fijadas a la riostra en el momento de la prueba para medir la fuerza axial que recibía el tubo exterior de la riostra mientras se realizaba la prueba. Dado que la mayor fuerza axial obtenida es comparable a aproximadamente el 10% de la carga aplicada a la riostra, el rendimiento de la capa antiadherente se considera satisfactorio. Después de determinar que se había adquirido una propuesta de diseño de la riostra de pandeo constreñida para un pórtico, también se determinó que esta propuesta de diseño satisface los requisitos de diseño aplicables aplicando la técnica de diseño y teniendo en cuenta los factores necesarios. Esto se hizo después de determinar que se había obtenido la propuesta de diseño. La aplicación de la técnica de diseño por capacidad permitió identificar elementos significativos que requerían nuestra atención. Un ejemplo de ello sería la investigación de las tensiones combinadas de compresión y flexión provocadas por las cargas de gravedad y las cargas laterales en las vigas y pilares del sistema lateral. Se descubrió que el diseño de las dos secciones estructurales expuestas estaba determinado por este estado de fallo.

### **Antecedentes nacionales**

Huarca (2022) estudió la I.E. N° 40092 «José Domingo Zuzunaga, Uchumayo - Arequipa» para conocer su actividad sísmica. Este no fue un estudio de laboratorio, sino aplicado. La guía de observación sirvió tanto de instrumento de control como de método de observación. Todos los pabellones del distrito de Uchumayo conformaron la población, y a todos se les asignó el E.I. número 40092, «José Domingo Zuzunaga». Se utilizaron pruebas probabilísticas para escoger la muestra, la cual provino del Bloque 2, Distrito A, el cual estaba conformado por un solo pabellón. Los resultados más importantes mostraron que las derivas superiores para cada nivel sísmico, en función de los desplazamientos, se detallan con respecto a la dirección de análisis «x», obteniendo el nivel sísmico extremadamente raro el

desplazamiento máximo con 6,24 centímetros. Esto indica una deriva que está dentro del límite de protección de vida de 0,65%. Se observa que las mayores derivas alcanzadas se obtienen en función de los desplazamientos para cada nivel sísmico en la dirección «y» del análisis. El nivel sísmico que recibe el mayor desplazamiento -6,83 centímetros- es el más peculiar. Esto se traduce en una deriva del 0,71%, inferior a la necesaria para salvaguardar la vida. La conclusión a la que se llegó fue que las derivas del suelo pueden verificarse utilizando un análisis lineal para confirmar el cumplimiento de estas en cada dirección de análisis. Del mismo modo, también es posible llegar a la conclusión de que la dirección «x» -que también es la más rígida y la que tiene menos distorsiones en el suelo- es la dirección de análisis con menor desplazamiento.

El objetivo del proyecto de Cahuana y Ccaso (2021) fue evaluar el comportamiento sísmico del Módulo III de la Comisaría de Ciudad Nueva, Tacna 2021, utilizando un enfoque de análisis estático no lineal denominado Pushover. Hubo un estudio, pero fue descriptivo y no involucró experimentos. La guía de observación sirvió como herramienta de control, y la observación fue el método empleado. Los empleados de la comisaría de Ciudad Nueva se incluyeron en la población considerada residente. Durante la demostración se empleó un censo y una demostración probabilística. Utilizando el software Etabs, se elaboró una curva de capacidad de noventa pasos. Se observó que la curva de capacidad mostraba asimismo una representación bilineal en la dirección Y. La distancia máxima recorrida fue de 0,082 metros, mientras que la fuerza ejercida sobre el centro de gravedad fue de 4.582,07 kilogramos. Estos resultados son los más impresionantes. Está demostrado que con un desplazamiento de 0,027 metros y una fuerza de deformación por cizallamiento de 345081,37 kilogramos por metro cúbico, la estructura empieza a deformarse. 14176658,86 kilogramos de fuerza por metro cuadrado es la rigidez lineal de la construcción, medida en metros cúbicos. Se puede observar que el mayor desplazamiento se traduce en una reducción de la capacidad del edificio. Esto se debe a las muertes muy rápidas de la mampostería que se restringen a los grados MY1, MY4 y MY5. Se cree que la estructura se habría derrumbado si no hubieran existido las porciones verticales encontradas en estos restos. La cantidad máxima de pseudoaceleración que puede obtenerse es de 1,6088 gramos, 0,6188 gramos, 0,4703 gramos y 1,2375 gramos para el terremoto extremadamente infrecuente, 0,6188 gramos para el terremoto ocasional y el terremoto típico, respectivamente. El comportamiento sísmico de la comisaría de Ciudad Nueva se evaluó mediante el análisis estático no lineal Pushover, y se determinó que el edificio no cumplía el objetivo de comportamiento para edificios esenciales porque, en la dirección X,

el nivel de comportamiento del edificio es totalmente operativo para amenazas sísmicas frecuentes y ocasionales, totalmente operativo para terremotos poco frecuentes y casi propenso al colapso para terremotos extremadamente poco frecuentes. En cambio, en la dirección Y, el edificio presenta tres niveles de prestaciones distintos: plenamente operativo en caso de seísmos frecuentes, operativo en caso de seísmos ocasionales y propenso al colapso en caso de seísmos raros y extremadamente raros.

Con la finalidad de evaluar el comportamiento sismorresistente de la estructura «Modulo Aulas» de la I.E. N° 11271, ubicada en el Barrio Luis Alberto Sánchez, Distrito de Chiclayo, Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque, Chávez (2021), se ofreció determinar el análisis estático no lineal de cedencia consecutiva. Esta investigación descriptiva no incluyó métodos experimentales. Se utilizó la guía de observación como herramienta de seguimiento además del enfoque observacional. La población estuvo conformada por estudiantes de la Institución Educativa SIGLO XXI, ubicada en el municipio de Luis Alberto Sánchez. El bloque «Módulo Aulas» de la Institución Educativa SIGLO XXI sirvió como muestra, y el procedimiento de selección utilizó una técnica de muestreo probabilístico. Según ASCE 41-13, el 10% del hormigón se fracturará a un módulo de elasticidad de 210 kg/cm<sup>2</sup>, según los resultados más importantes. La sustancia tendrá más características. Este fue el descubrimiento más importante. La curva de capacidad demuestra que la fuerza de cizallamiento basal puede producir un desplazamiento máximo de 12,46 milímetros y 210,44 toneladas de fuerza. Esto significa que una fuerza de cizallamiento superior a esta cifra hará que la estructura se derrumbe por completo y se deteriore. Se encontró que el diseño sismorresistente del «Módulo Aula» de la I.E. N° 11271 Siglo XXI cumplía con todos los requisitos especificados para el análisis sísmico de la norma E.030 Diseño Sismorresistente. Además, superó ampliamente los valores requeridos, lo cual es ventajoso para el fuerte comportamiento estructural de nuestro estudio.

Marín (2020) trató de determinar el grado de actividad sísmica que presentaba un edificio plurifamiliar mediante el uso del análisis estático no lineal. En 2020 se introdujo el Pushover de Jesús María. Este estudio se aplicó en lugar de llevarse a cabo en un laboratorio. La guía de observación funcionó como herramienta de seguimiento además del método observacional. Todos vivían en edificios que albergaban a varias familias. La muestra se creó utilizando datos censales y un muestreo probabilístico. Una de las conclusiones más importantes fue que las charnelas de plástico aparecieron primero en los pilares y no en las

vigas al final de las operaciones de X-pushover, lo que sugiere que el mecanismo de fallo era insuficiente. Aparecieron 49 bisagras plásticas, dos en vigas (ambas en el nivel operativo) y 47 en pilares (45 en el nivel operativo y 2 en el nivel de colapso). Todas las bisagras estaban orientadas hacia X. Los puntos funcionales de la dirección X son los siguientes. Los valores son los siguientes: 1,83 centímetros y 398,55 toneladas por segundo para la prevención de derrumbes en un terremoto muy poco común, 1,58 milímetros y 349,46 toneladas por segundo para la seguridad de la vida en un terremoto ocasional, y 1,09 centímetros y 253,00 toneladas por segundo para la ocupación inmediata en un terremoto ocasional. Los valores operativos para un terremoto común son  $S_d = 0,54$  cm y  $V = 279,23$  tn; para un terremoto ocasional,  $S_d = 0,67$  cm y  $V = 348,16$  tn; para un terremoto raro,  $S_d = 1,07$  cm y  $V = 443,92$  tn (ocupación inmediata); y para un terremoto muy raro,  $S_d = 1,41$  cm y  $V = 509,80$  tn (prevención de derrumbamientos). Estos son los valores de referencia de ocupación en dirección Y. Se comprobó que, para los edificios comunes especificados por las características de comportamiento proporcionadas, el grado de comportamiento del edificio bajo las distintas demandas sísmicas mostraba un buen comportamiento en ambas direcciones. El objetivo principal de esta normativa era salvar vidas humanas evitando el derrumbamiento en caso de terremotos extremadamente raros o poco frecuentes.

El estudio de Mendoza y Rivera (2020) se propuso evaluar el nivel de desempeño sísmico del Edificio de Aulas Generales de la Universidad Andina del Cusco mediante el enfoque de análisis estático no lineal (Pushover). No se trató de un estudio experimental, sino descriptivo. La guía de observación sirvió como instrumento de monitoreo y como método de observación. La población fue toda la estructura física del pabellón general de aulas de la Universidad Andina del Cusco. Se aplicó un muestreo probabilístico y la muestra fue un censo. La conclusión más importante fue que se mantuvo el método de combinación modal de combinación cuadrática completa, también denominado CQC. Además, el artículo 28.5 de la NTP E.030 especificaba el valor de la excentricidad involuntaria. Según este artículo, el valor de excentricidad equivale a 0,05 (cinco por ciento) veces el valor de la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección de análisis. De forma similar al cálculo de vigas, los valores se interpolan en función del área de la sección transversal, así como de las fuerzas axiales aplicadas por el pilar. El ordenador asignará automáticamente las rótulas para validar estos valores tras recibirlos de las tablas. A continuación se ilustra cómo se asignaron las rótulas para las columnas: A continuación se insertan los valores de las secciones transversales que se tomaron de las envolventes, seguidos de los dos valores de carga axial que representan el 10%

y el 70% del área de la sección transversal; y por último, se coloca el valor de la relación de las cantidades que se calcularon previamente. Se encontró que el sismo de servicio para la dirección de análisis X se encuentra en un nivel de Ocupación Inmediata (IO), lo que significa que no cumple con el objetivo de desempeño recomendado. Sin embargo, el sismo máximo sí cumple con el objetivo de desempeño establecido porque se encuentra en un nivel de Seguridad de Vida (LS). No es posible que cumpla con los objetivos de desempeño sugeridos debido a que el sismo máximo para la dirección de análisis Y se encuentra en un nivel de Prevención de Colapsos (CP) y el sismo de servicio se encuentra en un nivel de Ocupación Inmediata (IO).

Fernández (2022) se propuso evaluar las capacidades sismorresistentes del edificio de ingeniería civil de la Universidad Nacional Autónoma de Chota aplicando el método pushover estático no lineal. Para realizar esta evaluación se debía seguir los puntos de comportamiento para sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo. Esta evaluación se realizó para asegurarse de que, en caso de un evento sísmico, el edificio podría seguir funcionando según lo previsto. En este estudio descriptivo no se realizaron experimentos. La guía de observación sirvió tanto de instrumento de control como de método de observación. Los pabellones del campus universitario conformaron la población del centro de población Colpamatara de la UNACH. El edificio de Ingeniería Civil, situado en el campus universitario de Colpamatara de la UNACH, en la región de Chota, se utilizó como muestra en un procedimiento de muestreo probabilístico. Los resultados más importantes fueron el modelo sísmico, las características sísmicas de cada módulo y el análisis sísmico. Esto permitió calcular el cortante dinámico y estático en X e Y para cada módulo de construcción de ingeniería civil de la UNACH. Este criterio no se cumplió en todos los resultados, pero hubo que producir un coeficiente de amplificación en el rango de 1,10-1,4. Este componente influye en el diseño propuesto, pero no tiene ningún efecto sobre las derivas y los desplazamientos. Además, el cortante dinámico debe ser al menos el 80% del cortante estático, según la norma E.030 (MVCS, 2020). Como resultado, se tuvo que producir un coeficiente de amplificación. La R cuadrada es del 81,52%, lo que indica que el modelo estadístico se ajusta bien a los datos y que los resultados son muy fiables. Además, el modelo puede aplicarse para obtener generalizaciones fuera de la muestra. Tras muchas deliberaciones, se llegó a la conclusión de que el edificio de ingeniería civil de la UNACH se compone de seis módulos diferentes. Entre estos módulos se encuentran los laboratorios del Módulo I, las aulas del Módulo II, las oficinas administrativas del Módulo III, la escalera del Módulo IV, los sanitarios del Módulo V y la escalera del Módulo VI. Dado que



estos módulos funcionan como estructuras independientes, se han modelado de forma independiente utilizando el programa ETABS 2018.

El objetivo del Análisis Estático No Lineal (Pushover) de Julca (2020) fue verificar la resiliencia sísmica del Colegio Nuevo San Juan Alto N° 101136, ubicado en la Provincia de Hualgayoc de la Región Cajamarca. Se realizó una investigación básica, no experimental. La guía de observación sirvió como instrumento de seguimiento y la observación fue el enfoque empleado. La población estuvo constituida por las instituciones educativas del centro poblado Nuevo San Juan Alto. Para la conformación de la muestra se utilizó el S.I. número 101136 y una técnica de muestreo probabilístico. La provincia de Hualgayoc en la Región Cajamarca de Nuevo San Juan Alto proporcionó la muestra. El descubrimiento más importante con respecto al refuerzo de concreto fue que una columna (designada P-M2-M3) tenía una marca en la opción Taype Designado. Además, colocamos tres varillas de acero de ½ pulgada de diámetro y un tapón de 4 centímetros en cada dirección de la configuración longitudinal barra-rectangular. El archivo Chuck /Designed deja claro que este componente será examinado. Parece que el edificio muestra un comportamiento traslacional basado en nuestras conclusiones sobre la implicación de la masa. Para el modo 1, tenemos una participación de masa del 98% de las masas en «X», y para el modo 2, tenemos una participación de masa del 98% para «Y». Con una puntuación del 98% en ambos ejes, el edificio cumple esta condición. Esto se ajusta a la Norma, que estipula que la participación global de la masa en «X» e «Y» debe ser superior al 90%. El análisis de la estructura mediante la metodología Pushover llevó a la conclusión de que el terremoto ocurrido en «XX» tenía un valor de  $(\Delta t, V) = (0,148, 46,506)$ . Se descubrió que el límite elástico  $(\Delta t, V)$  era  $(0,120, 37,833)$ . En caso de terremoto en «XX», el intervalo de funcionamiento puede contener el límite elástico. Para el terremoto ocurrido en el año YY, el valor es  $(\Delta t, V) = (0,543, 73,867)$ . El punto de fluencia  $(\Delta t, V)$  se encuentra igualmente dentro del rango operativo para un terremoto en el año «YY» ya que es igual a  $(0,105, 45,558)$ .

Con la finalidad de conocer el nivel de desempeño sismorresistente que posee la Institución Educativa Técnica Rafel Loayza Guevara, Mires (2019) realizó una investigación de la institución utilizando el método Pushover. Este estudio fue de carácter descriptivo y no utilizó ningún método experimental. La guía de observación sirvió como instrumento de control y la observación fue el enfoque empleado. La Institución Educativa Técnica Rafael Loayza Guevara fue el único participante tanto de la población como de la muestra. La

construcción 2009-2010 del «Nuevo Pabellón» sirvió como modelo. La muestra se recolectó mediante un muestreo censal y probabilístico. Las conclusiones más importantes fueron que se resumen los puntos de rendimiento para cada nivel de peligro, y los datos se muestran tanto en coordenadas espectrales ( $S_d$  frente a  $S_a$ ) como en coordenadas (desplazamiento del nodo de control frente al recuento basal). Estos resultados son los más pertinentes. Además, se muestran valores comparables de amortiguación viscosa y periodo. El ATC-40 indica que la deriva que recomienda -discutida en la tabla 5 de los antecedentes teóricos- se utiliza para clasificar los puntos de fluencia. Sin embargo, en el ATC-40 no hay criterios de sectorización de la curva de capacidad para cada nivel de rendimiento. Como se menciona en la frase anterior, también se han calculado las derivas para cada punto de rendimiento. La teoría se confirmó cuando se comprobó que la Institución Educativa Técnica Rafael Loayza Guevara tenía un nivel de desempeño sismorresistente de ocupación inmediata.

El objetivo del estudio de Rosario (2019) fue evaluar la resiliencia sísmica de un número reducido de viviendas de mampostería construidas por los propios constructores en el barrio de Chancay, Lima. Se trató de un estudio aplicado y descriptivo que no implicó ningún tipo de experimentación. La guía de observación sirvió como herramienta de seguimiento además del método observacional. El barrio San Francisco, ubicado en el distrito de Chancay - Lima, albergaba veinte viviendas autoconstruidas de ladrillo restringido de tres pisos. La muestra se seleccionó mediante una técnica de selección no probabilística. Estas edificaciones estaban ubicadas en la zona de Lima del barrio San Francisco de Chancay. La curva de capacidad parece mantenerse linealmente hasta que se genera una respuesta de alrededor de 265.05 toneladas en la base, momento en el cual se desplaza a 1.59 cm en el nivel superior. Este es uno de los descubrimientos más significativos. Si se examina la imagen de la curva de capacidad en la dirección y, se verá. Pero no trabaja a su máximo potencial hasta que reacciona 342,99 toneladas en la base y se desplaza 5,90 cm en esa dirección, según las observaciones. Los límites del rendimiento que se puede alcanzar se descubren en las separaciones entre los cuatro niveles que se toman en consideración. La amplitud límite para el nivel de estabilidad estructural es de aproximadamente 11,242 centímetros, la distancia límite para el nivel operativo es de 3,338 centímetros, la amplitud máxima para el nivel de seguridad es de 6,387 centímetros y la amplitud máxima para el nivel de ocupación inmediata es de 4,769 centímetros. Se ha comprobado que las curvas de demanda para cada uno de los terremotos mencionados se obtienen convirtiendo la curva de demanda en el espectro de demanda de acuerdo con los criterios de la norma ATC-40, que en este caso consisten en tres tipos de

terremotos distintos (servicio, diseño y máximo). Esto permite evaluar la estructura que se está estudiando.

Cumpa y Quispe (2019) señalan que el objetivo fue conocer el grado de comportamiento de la estructura en la Institución Educativa N° 50217, ubicada en el barrio Umachurco-San Salvador. Para ello se utilizó el A.E.N.L. de cedencia consecutiva (Pushover), teniendo en cuenta los lineamientos encontrados en los documentos FEMA 356 y ATC-40. Este estudio no empleó métodos experimentales, sino que fue de naturaleza descriptiva. La guía de observación sirvió como herramienta de control adicional al método observacional. La infraestructura de la Institución Educativa N° 50217 estuvo conformada por los pobladores del barrio cusqueño de Umachurco. La muestra fue extraída de un censo y fue elegida mediante una técnica de muestreo probabilístico. Los hallazgos más notables fueron las derivas entre pisos, que oscilaron entre 13.04% y 43.51% según el análisis dinámico y la Norma de Diseño Sismorresistente E-0.30. Se compararon las distorsiones entre pisos producidas por el análisis estático no lineal. Los desplazamientos meta para cada demanda sísmica, que se establecieron utilizando el método de coeficientes del procedimiento FEMA 356, se posicionan en la curva de capacidad sectorizada de acuerdo con los niveles de desempeño. Esto se realiza para mejorar la visualización de los resultados. Los puntos de rendimiento alcanzados según las normas ATC 40 se muestran en la curva de capacidad estructural. En la curva de capacidad sectorizada se han localizado estos puntos. Para ayudar a una mejor comprensión de estos, estos puntos se situaron en la curva de capacidad sectorizada para cada una de las demandas sísmicas (ocasional, infrecuente y extremadamente infrecuente) en función de los niveles de rendimiento. Utilizando el análisis estático no lineal de cedencia sucesiva Pushover, se determinó que el desplazamiento causado por la estructura era de 7,40 centímetros. Este desplazamiento fue causado por una fuerza cortante de 282,06 toneladas. De acuerdo con las normas FEMA 356, existen diferencias correspondientes en la magnitud del período efectivo para el sismo de servicio, el sismo de diseño y el sismo máximo con respecto al período básico de la estructura, que son 12%, 12% y 12%. Según los criterios proporcionados por el ATC-40, la amplitud del período efectivo varía con respecto al período básico de la estructura en un 27%, 45% y 60% para los terremotos raros, muy raros y ocasionales, respectivamente.

## 2.2. Bases teóricas o científicas

### 2.2.1. Método no lineal pushover

- **Definición**

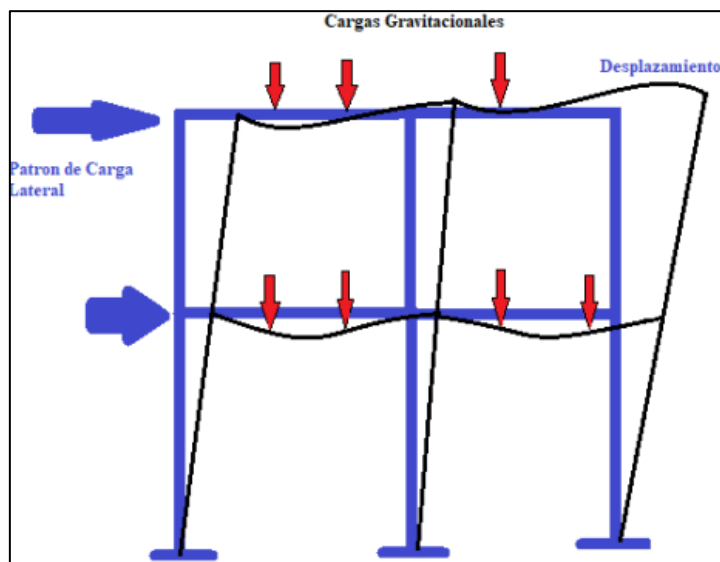
Según Huarca (2022), este método permite investigar el desplazamiento de la estructura cuando se somete a tensiones laterales que aumentan gradualmente hasta generar una rótula. Debido a que las tensiones laterales se aplican en estados de fluencia crecientes, este método a veces se denomina análisis de fluencia continua no lineal. Esto se debe a que los estados de fluencia son crecientes. Mires (2019) afirma que el análisis del comportamiento sísmico hace un gran uso de él debido a que los resultados son muy precisos. Como consecuencia de esto, en los párrafos que siguen se discute el alcance de esta metodología.

Julca (2020) afirma que es una forma sencilla e increíblemente útil de analizar el comportamiento de un edificio teniendo en cuenta la reacción de los materiales a medida que se aproximan a la zona inelástica. Es un mecanismo que nos permitirá responder a los terremotos en el futuro de una manera más eficiente. Porque nos ayuda a producir un diseño estandarizado proporcionándonos una gran seguridad y velos, también es más sugerido porque nos proporciona una opción mucho más velada a la hora de seleccionar cómo responder a la sismicidad de un edificio. Esta es otra de las razones por las que es más recomendable. (2017) Rosario (2019).

Según Fernández (2022), la investigación se realiza sobre un edificio que se caracteriza por su inelasticidad. Para visualizar los sitios de falla en los elementos hasta el colapso del edificio como resultado de cargas laterales monotónicamente crecientes que producen desplazamientos laterales en cada entrepiso al mismo tiempo, se visualizan puntos de falla en los elementos. Esta estrategia, que es descrita por Cumpa y Quispe (2019), considera una fuerza de gravedad que no cambia mientras que simultáneamente impone una carga lateral monotónica que crece progresivamente en el transcurso del tiempo. Como resultado directo de esto, se genera la curva de capacidad de la estructura. Esta curva tiene en cuenta el desplazamiento de la estructura para la demanda que se solicita (desplazamientos de cubierta, derivas entre plantas) en el eje de abscisas, así como la fuerza que está representando la demanda que se solicita (fuerza cortante, espectros de pseudoaceleración) en el eje de ordenadas.

De acuerdo con Marin (2020), se trata de un método de análisis que tiene en cuenta los impactos de la no linealidad del material. La construcción de este tipo de

estudio es factible a través de la utilización de una variedad de enfoques, tales como la metodología FEMA-273/356 y la metodología ATC-40. Dicho esto, la curva de capacidad, que es una representación de sus tipologías no lineales (fuerza-deformación), es la misma para todas y cada una de ellas.



**Figura 1.** Ilustración del análisis estático no lineal pushover. Tomada de «Evaluación del desempeño sismorresistente de la institución educativa N°50217 de la Comunidad Umachurco – San Salvador, aplicando el método de análisis estático no lineal de cedencia sucesiva (pushover)», por Cumpa y Quispe. 2019, p. 86.

- **Procedimientos de análisis estático no lineal**

Fernández (2022) hace la predicción de que el cortante basal será igualmente igual a la suma de las fuerzas que se dispersan sobre cada piso ( $F_i$ ), lo que indica que la suma de estas fuerzas es igual a la suma de las fuerzas. Cuando estas fuerzas se aplican al edificio, éste es capaz de alcanzar un desplazamiento lateral máximo ( $d_s$ ), que es la mayor cantidad de desplazamiento que se puede alcanzar antes de que la estructura colapse. Esto se consigue aumentando progresivamente las cargas que el edificio debe ser capaz de soportar. Las distribuciones de cargas laterales que se utilizan con más frecuencia son todas las de los ejemplos siguientes:

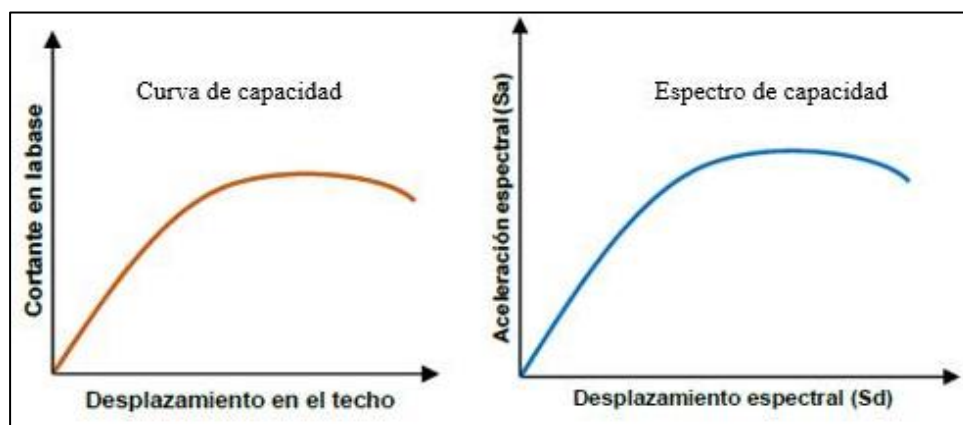
- Cada uno de ellos en un patrón uniforme, proporcionalmente según su nivel.
- Una distribución proporcional, cuyos factores determinantes son la multiplicación de la masa y la deformación modal.

### ✓ **Curva de capacidad**

Según Julca (2020), la utilización de un modelo Pushover para un edificio produce una curva de capacidad que se traza como la relación entre el cortante basal y el desplazamiento lateral del nivel final de la estructura. Esta curva se utiliza para determinar la capacidad del edificio.

### ➤ **Espectro de capacidad**

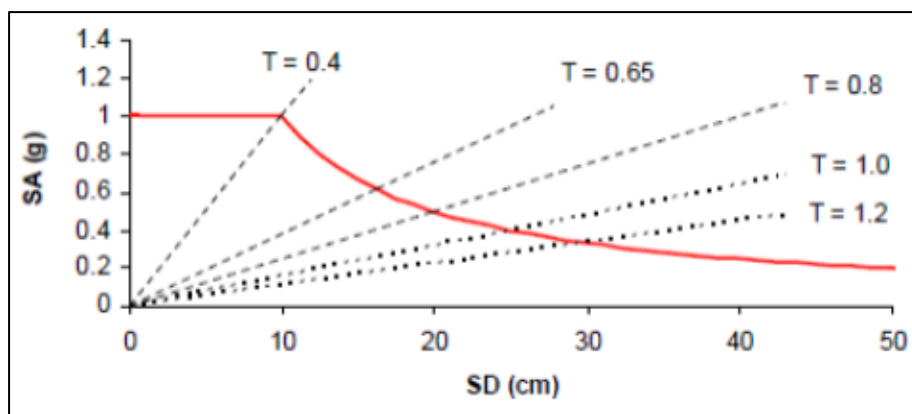
Es posible generar una curva de capacidad en formato DRS, como indica Julca (2020), tras realizar una investigación sobre el atributo modal que se asocia al modo fundamental de vibración. La curva de capacidad, que suele denominarse espectro de capacidad, se define graficando el desplazamiento espectral ( $S_d$ ) y la aceleración espectral ( $S_a$ ). Según Fernández (2022), se trata del sistema de ejes de coordenadas. El eje de ordenadas se utiliza para medir el esfuerzo cortante en la base, mientras que el eje de abscisas se utiliza para medir el desplazamiento en el nivel final de la estructura.



**Figura 2.** Curva de capacidad y espectro de capacidad. Tomada de «Evaluación del desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería civil de la Universidad Nacional Autónoma Chota, 2018», por Fernández. 2022, p. 41.

### ➤ **Espectro de demanda**

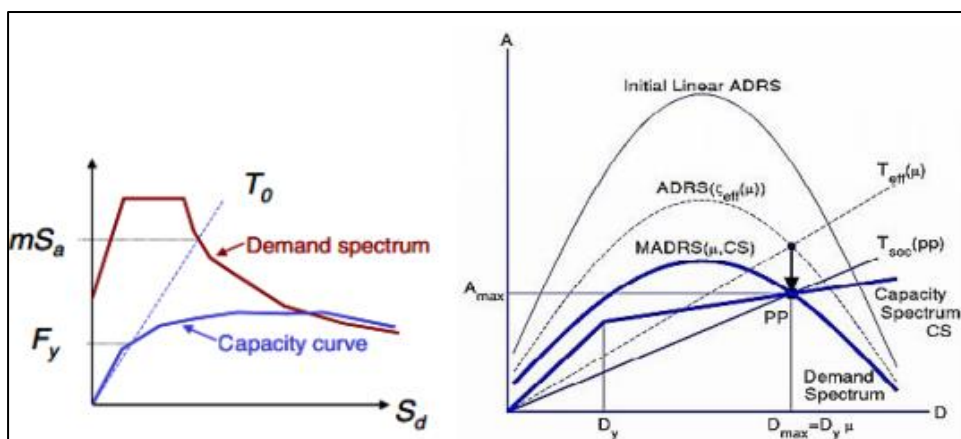
Según Fernández (2022), se proporciona en forma de mediciones de aceleración, así como de parámetros espectrales de desplazamiento.



**Figura 3.** Espectro de demanda. Tomada de «Evaluación del desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería civil de la Universidad Nacional Autónoma Chota, 2018», por Fernández. 2022, p. 42.

### ➤ Punto de desempeño

Fernández (2022) menciona que esto se logra mediante la convergencia del espectro de capacidad y el espectro de demanda.

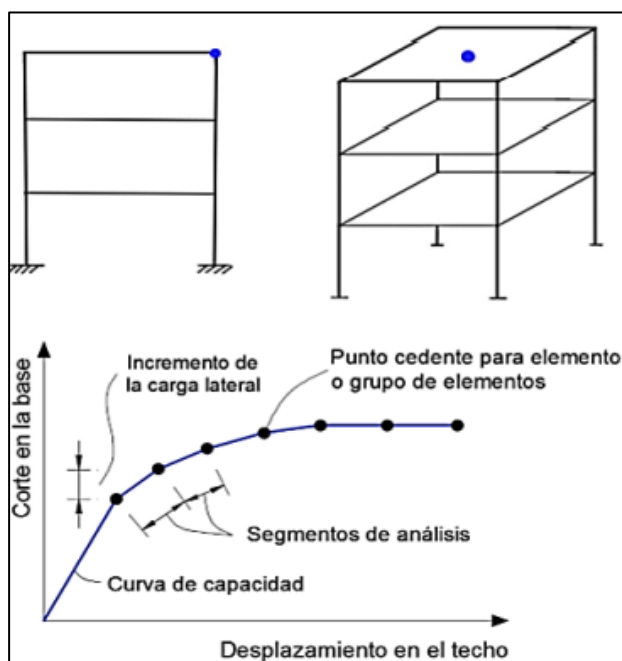


**Figura 4.** Punto de desempeño. Tomada de «Evaluación del desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería civil de la Universidad Nacional Autónoma Chota, 2018», por Fernández. 2022, p. 43.

La técnica de análisis se describe a continuación, según Cumpa y Quispe (2019):

- Una primera instancia no lineal implica tanto la acción variable como la permanente, y está relacionada con la carga gravitatoria. Esta instancia se define y presenta en la siguiente frase.
- Es posible que ciertos elementos (o grupos de elementos) interactúen entre sí, lo que daría lugar a la generación de una segunda instancia no lineal que está relacionada con el patrón de carga lateral.

- Con el fin de seguir el desplazamiento en función del aumento de la fuerza cortante, se establece un punto de control. Este punto de control suele estar situado en el centro de masa, que es el punto más alto del edificio.
- Las ubicaciones precisas de las bisagras plásticas dentro de los componentes estructurales se han identificado e identificado con éxito dentro de los componentes. Dadas las circunstancias, es posible atenerse a las recomendaciones que ofrecen tanto FEMA 356 como ATC-40. Mediante la utilización de la curva de capacidad, es posible establecer una conexión entre el esfuerzo cortante base y el desplazamiento del tablero, así como la progresión cronológica del crecimiento de las charnelas plásticas.



**Figura 5.** Ejemplo del procedimiento de análisis pushover. Tomada de «Evaluación del desempeño sismorresistente de la institución educativa N°50217 de la Comunidad Umachurco – San Salvador, aplicando el método de análisis estático no lineal de cedencia sucesiva (pushover)», por Cumpa y Quispe. 2019, p. 88.

- **Evaluación del desempeño sísmico de edificaciones**

Según Julca (2020), se ofrecen cinco etapas de comportamiento. Estas etapas se definen de acuerdo con el comportamiento del edificio, las instalaciones y las cosas que no son fundamentales para la estructura.



- **Representación bilineal de la curva capacidad**

Según Cumpa y Quispe (2019), al realizar el procedimiento de análisis estático no lineal mediante la técnica Pushover, es factible concluir que la creación de la primera rótula marca el inicio del comportamiento no lineal (fin de la fase elástica de la estructura). Es posible llegar a esta conclusión. Pero, en términos generales, este comportamiento está vinculado a un desplazamiento considerable de la rigidez, que hace que la pendiente de la curva de capacidad se desplace significativamente. Esto es válido para toda la duración del procedimiento. Por lo tanto, es crucial encontrar un punto de fluencia que simbolice el cambio en el comportamiento de la estructura investigada. Este punto, conocido como la fluencia efectiva desde el punto anterior, puede utilizarse para empezar a simplificar la curva de capacidad en un modelo bilineal.

## **2.2.2. Desempeño sismorresistente**

- **Definición**

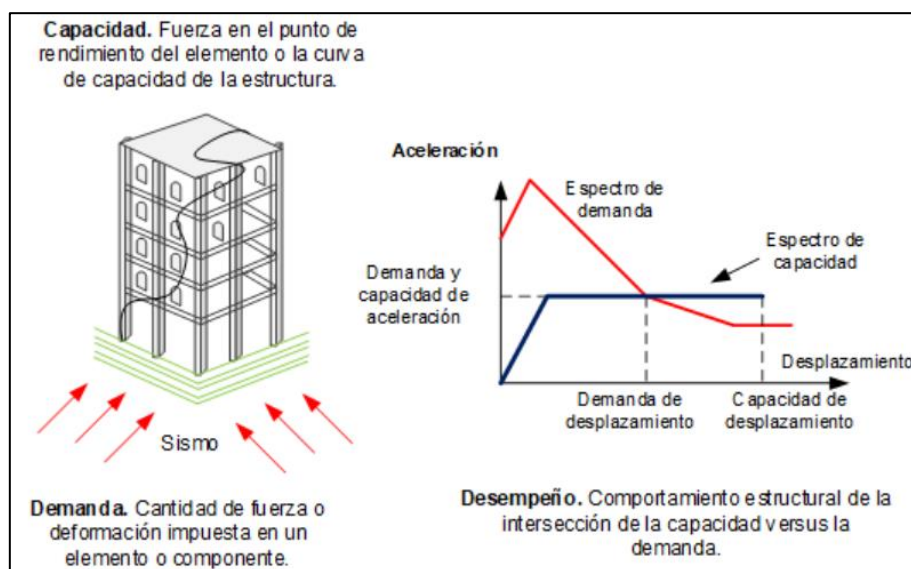
Según Lara (2021), tiene la responsabilidad de determinar la funcionalidad requerida por la estructura para restringir el daño permisible sin colapso. Con el fin de orientar el diseño no sólo a evitar el colapso de la estructura (como lo proponen los métodos tradicionales), sino también a determinar criterios de funcionalidad relacionados con las actividades que se le asignan al edificio para asegurar que éste sea efectivo, es específicamente necesario diseñar para diferentes niveles de sismo y daño.

Fernández (2022) define el comportamiento sismorresistente como la capacidad de un edificio para tolerar distintos grados de daño en función de la frecuencia y el impacto del daño en la estructura. Según Mires (2019), ofrece una descripción precisa del comportamiento en diversas situaciones sísmicas, especialmente si se tiene en cuenta que estas normas sólo tienen en cuenta los terremotos, el tipo más grave de sacudida del suelo. Se han creado recomendaciones basadas en el comportamiento para la evaluación y el diseño de estructuras en varios niveles de severidad sísmica. El propósito de estas directrices es ayudar a determinar la respuesta adecuada de un edificio a la actividad sísmica.

Según Rosario (2019), la mayoría de los procesos de diseño de las normas tienen en cuenta un único nivel de intensidad o aceleración y un nivel sísmico de diseño, que puede ser el más alto previsto para la vida útil prevista de la estructura. Esto se lleva a cabo sin tener en cuenta la necesidad de manejar la prevención de colapsos y los requisitos de serviciabilidad. Como resultado, la idea del «Diseño para el Rendimiento Sísmico» ha ganado fuerza. Este concepto incluye el análisis de muchos estados límite, incluidos el máximo, el de diseño y el de servicio.

- **Fundamentos del desempeño sismorresistente**

Según Fernández (2022), es una palabra que se refiere al comportamiento aceptable que una estructura debe ser capaz de alcanzar cuando es sometida a un determinado nivel de movimiento sísmico.



**Figura 6.** Capacidad, demanda y desempeño. Tomada de «Evaluación del desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería civil de la Universidad Nacional Autónoma Chota, 2018», por Fernández. 2022, p. 35.

- **Niveles del desempeño sismorresistente**

Cahuana y Ccaso (2021) afirman que los niveles de desempeño toman en consideración aspectos esenciales como los peligros a los que están expuestas las personas que habitan el edificio, los daños que sufren los elementos estructurales y no estructurales, y la utilidad de algunos de estos elementos, como la continuidad de los servicios esenciales. Como afirma Mires (2019), para conocer el comportamiento sísmico de una estructura es necesario desarrollar nuestra investigación a partir de

tres ideas fundamentales. Los niveles de rendimiento, los niveles de peligrosidad y los objetivos de rendimiento son las ideas que se están discutiendo aquí:

➤ **Niveles de desempeño**

Según el ATC-40, las normas de comportamiento de los componentes estructurales y no estructurales son diferentes: Los componentes estructurales del edificio se clasifican en cinco estadios de daños diferentes, de los cuales dos son intermedios y tres significativos. En el proceso de evaluación, la ocupación inmediata (IO), la seguridad vital (LS) y la estabilidad estructural (CP) son los tres factores más importantes. Estos son los que se utilizan a la hora de elaborar normas técnicas. Sin embargo, los dos intermedios -seguridad limitada y daños controlados- permiten comprender mejor el comportamiento de la estructura.

- SP-1: Ocupación directa: Se han producido daños muy leves. La capacidad del sistema para soportar cargas verticales y laterales no se ha visto alterada. No hay víctimas y el edificio sigue operativo.
- El segundo nivel de la norma de daños, conocido como «daños controlados», describe un estado de daños intermedio entre la ocupación inmediata y los criterios de seguridad de la vida. Sirve como sustituto de las diversas situaciones en las que sería preferible limitar los daños estructurales por encima de la norma de seguridad vital. Las leyes que controlan la conservación de objetos valiosos o la retirada de elementos arquitectónicos de importancia histórica de estructuras históricas son dos ejemplos.
- Es probable que los elementos estructurales de la estructura estén gravemente dañados, aunque la estructura en sí siga intacta. Este componente de la seguridad vital se conoce como SP-3. Además, existe peligro para la seguridad de las personas tanto desde el exterior como desde el interior del edificio.
- Un estado de daños que supone un riesgo importante para la vida de las personas que ocupan la estructura se denomina «seguridad limitada» porque fluctúa entre los límites de la estabilidad estructural y la seguridad.
- La estabilidad estructural es un estado de daño en el que el sistema estructural está a punto de colapsar total o parcialmente, según el quinto principio de integridad estructural. La estructura puede haber perdido parte de su resistencia y rigidez lateral debido a los graves daños.

- El SP-6 no se tiene en cuenta porque no existe correlación entre él y el nivel de rendimiento de una estructura. En su lugar, es un criterio que sólo cubre la evaluación sísmica de elementos no estructurales. Hay cuatro niveles de rendimiento que se consideran para los elementos no estructurales (NP-n). A la hora de expresar criterios técnicos en los procedimientos de evaluación y rehabilitación, estos niveles pueden emplearse directamente.
- El estado de daño conocido como no estructural, operativo, o las partes y sistemas no estructurales que aún están completamente instalados y operando según lo previsto se denominan NP-A.
- La ocupación inmediata, también conocida como NP-B, es la condición en la que se supone que los sistemas y elementos no estructurales funcionan normalmente con sólo pequeñas interrupciones locales. En consecuencia, los servicios externos no se ven afectados. Además, no se ha puesto en peligro la seguridad de nadie.
- NP-C Seguridad de la vida: Esta condición de daños protege contra la caída de objetos pesados que podrían herir a personas dentro o fuera del edificio, a pesar de los daños significativos en secciones y sistemas no estructurales. La vida de nadie está en peligro.
- Conocida como «amenaza reducida» o «NP-D», implica daños significativos en componentes y sistemas no estructurales. Sin embargo, no cubre la caída o el desplome de objetos grandes y pesados que hieren a varias personas a la vez. Ejemplos de este tipo de material son los parapetos, los muros exteriores de mampostería y los revestimientos. Existe un gran riesgo si no se tiene en cuenta a las personas. No existe un nivel de prestaciones para los elementos no estructurales asociado al término NP-E. Sólo se tienen en cuenta las variables que no afectan a la reacción estructural del edificio; estos elementos no se analizan de ninguna manera.

➤ **Niveles de amenaza**

Mendoza y Rivera (2020) afirman que la peligrosidad sísmica en un determinado lugar se caracteriza por una colección de eventos sísmicos y peligros relacionados, cada uno de los cuales tiene una probabilidad particular de ocurrir para ese lugar en particular. Una cantidad promedio de tiempo que transcurre entre terremotos que causan efectos del mismo orden y gravedad se denomina Período de Retorno. Este periodo de tiempo se define como la cantidad media de tiempo.

Existen tres niveles de peligrosidad diferentes que corresponden a movimientos sísmicos que se identifican de la siguiente manera, según Mires (2019):

- Sismo de Servicio (SE): Los movimientos que son frecuentes y cuya intensidad oscila entre leve y moderada se denominan seísmos de servicio (SE). Se asocian a una probabilidad de superación del cincuenta por ciento en cincuenta años, o aproximadamente setenta y dos años para un periodo de retorno. Esto se debe a que tienen el potencial de ocurrir más de una vez dentro de la vida útil de un edificio. Este movimiento es aproximadamente igual a la mitad de la magnitud del movimiento asociado al terremoto de diseño, ya que estos terremotos son más frecuentes y menos severos que los terremotos de diseño que se suelen indicar en la normativa.
- Sismo de Diseño (SD): Los movimientos sísmicos de diseño (DS) se definen como movimientos de intensidad moderada a grave que se producen con muy poca frecuencia. El periodo de retorno típico de estos movimientos es de unos 475 años, y existe un 10% de probabilidades de que se superen en los próximos 50 años. Se espera que ocurra al menos una vez durante la vida de un edificio normal, ya que corresponde al nivel de movimiento que suele exigir la mayoría de las normas de diseño para edificios convencionales.
- Sismo Máximo (SM): Es muy poco frecuente que los movimientos se clasifiquen como Movimientos Sísmicos Máximos (SM) y, cuando se producen, son extremadamente intensos. Suelen tener un periodo de retorno medio de unos 975 años y están relacionados con una probabilidad de ser superados en un 5% en un periodo de cincuenta años. La mayoría de la gente opina que esta proporción está relacionada con la importancia de los edificios críticos, que son susceptibles de sufrir terremotos menos frecuentes pero más graves. Esto se debe al hecho de que corresponde al nivel de movimiento que normalmente se establece en los códigos de diseño para edificios vitales. Además, representa aproximadamente entre 1,25 y 1,5 veces el nivel de movimiento relacionado con el terremoto de diseño que se especifica tradicionalmente en los códigos.

#### ➤ **Objetivos de rendimiento**

La selección de un nivel deseado de comportamiento del edificio para un grado específico de peligro sísmico es el paso fundamental en el proceso de definición de un objetivo de comportamiento sísmico.

### 2.3. Definición de términos

**Acero:** El módulo de elasticidad viene definido por la tangente del ángulo  $\alpha$ , por lo que es independiente del grado del acero. En su fase elástica, según la curva tensión-deformación de los aceros, presentan el mismo comportamiento según varíen sus grados (Marin, 2020).

**Capacidad de la estructura:** La capacidad de la estructura se establece mediante la capacidad de resistencia y deformación de los componentes individuales de la estructura. El proceso conocido como «Pushover» se aplica para determinar la capacidad que supera el límite elástico. Este procedimiento aproxima un diagrama de capacidad de fuerza-desplazamiento del conjunto estructural mediante una serie de evaluaciones elásticas sucesivas colocadas unas sobre otras (Cumpa y Quispe, 2019).

**Concreto:** Aunque el hormigón no es un material elástico, se cree que existe una proporción lineal en el rango de alrededor del 40% de la capacidad total. El colapso se produce con frecuencia cuando la carga es inferior a la carga máxima potencial (Marin, 2020).

**Curva de capacidad:** Un tipo de curva que se suele producir creando modelos matemáticos de la estructura y clasificando sus partes constituyentes como principales o secundarias es la curva de capacidad. A la inversa, hay que recopilar datos sobre las propiedades de los materiales y el tamaño de los componentes estructurales (Páramo y Villegas, 2021).

**Curva de desempeño:** La curva de rendimiento confirma si los componentes estructurales y no estructurales funcionan dentro de los límites previstos en las condiciones dadas (Lara, 2021).

**Demanda:** Es una representación, expresada en términos de desplazamiento, del movimiento del terreno que experimenta una estructura durante un terremoto. La demanda de desplazamiento es una estimación de la mayor respuesta que puede esperarse para una estructura y un terremoto específicos (Mendoza y Rivera, 2020).

**Desempeño:** El rendimiento de la estructura puede evaluarse en cuanto se describe la demanda de desplazamiento y se elabora la curva de capacidad. Durante la comprobación del rendimiento se asegura que no se ha producido ningún daño en los componentes estructurales o no estructurales que vaya más allá de lo permitido para el rendimiento objetivo (Cumpa y

Quispe, 2019).

**Desempeño Sísmico:** El rendimiento sísmico de una estructura está correlacionado con la ductilidad, la resistencia y la deformación de sus partes constituyentes. El término «comportamiento sísmico» describe la capacidad global de una estructura. La determinación de las capacidades dentro de las limitaciones inelásticas es una tarea que requiere el uso de estudios no lineales (Cahuana y Ccaso, 2021).

**Espectro de capacidad:** El desplazamiento  $d$  y el cortante basal  $V$ , que son las unidades de la curva de capacidad, deben convertirse en una curva conocida como espectro de capacidad, que se mide en unidades del espectro de aceleración y del espectro de desplazamiento, para utilizar el enfoque del espectro de capacidad (Páramo y Villegas, 2021).

**Estructura:** Las partes individuales de un todo, junto con las formas en que están conectadas e interactúan entre sí, conforman su estructura. La superestructura, o estructura, se refiere a la parte del edificio que se eleva por encima del suelo (Fernández, 2022).

**Ondas sísmicas:** Una de las manifestaciones de la energía de un terremoto son las ondas sísmicas. Debido a ello, el movimiento da lugar a desplazamientos que vienen determinados por las propiedades dinámicas de la estructura y cambian en función del tipo de onda sísmica que produce la manifestación (Chavez, 2021).

**Peligro sísmico:** Está causado por el movimiento del suelo, que viene determinado por la ubicación del edificio en relación con la zona, las fallas geológicas y las características geotécnicas y geológicas del emplazamiento. Un tipo de peligro que puede producirse es el sísmico (Cahuana y Ccaso, 2021).

**Sismo:** Los terremotos son movimientos vinculados que tienen lugar entre placas tectónicas, acumulando energía que posteriormente se libera en forma de ondas sísmicas (Fernández, 2022).

## **CAPÍTULO III**

### **HIPÓTESIS**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis General**

Los resultados del método no lineal pushover serían significativos en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.

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

- a) Los resultados del método no lineal pushover serían significativos en el nivel de desempeño totalmente operacional de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.
  
- b) Los resultados del método no lineal pushover serían significativos en el nivel de desempeño operacional de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.
  
- c) Los resultados del método no lineal pushover serían significativos en el nivel de desempeño de seguridad de vida de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.
  
- d) Los resultados del método no lineal pushover serían significativos en el nivel de desempeño de pre-colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.



- e) Los resultados del método no lineal pushover serían significativos en el nivel de desempeño de colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.

## 3.2. Variables

### 3.2.1. Definición conceptual de la variable

#### **Variable Independiente (X): Método no lineal pushover**

Este método permite el análisis por el desplazamiento de la estructura ante cargas laterales, las cuales se van incrementando gradualmente hasta formar una rótula (Huarca, 2022).

#### **Variable Dependiente (Y): Desempeño sismorresistente**

El desempeño sismorresistente representa la capacidad de una edificación de aceptar diferentes niveles de daños en función de la frecuencia con que se producen y de las consecuencias que tienen (Fernández, 2022).

### 3.2.2. Definición operacional de la variable

#### **Variable Independiente (X): Método no lineal pushover**

El procedimiento de análisis estático no lineal cuenta con la curva de capacidad, como la relación entre el corte basal, respecto al desplazamiento lateral del último nivel de la estructura. El análisis tiene como base dos conceptos primordiales: La capacidad y la demanda.

#### **Variable Dependiente (Y): Desempeño sismorresistente**

En cuanto a sus niveles de desempeño, tenemos a los niveles Totalmente operacional, Operacional, Seguridad de vida, Pre colapso y Colapso.

### 3.3. Operacionalización de variables

**Tabla 1.** Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>Variable Independiente</b> Método no lineal pushover	Este método permite el análisis por el desplazamiento de la estructura ante cargas laterales, las cuales se van incrementando gradualmente hasta formar una rótula (Huarca, 2022).	El procedimiento de análisis estático no lineal cuenta con la curva de capacidad, como la relación entre el corte basal, respecto al desplazamiento lateral del último nivel de la estructura. El análisis tiene como base dos conceptos primordiales: La capacidad y la demanda.	Capacidad	Geometría de los elementos La cantidad de refuerzo Propiedades de los materiales
			Demanda	Depende de un sismo-Fuerzas externas
<b>Variable Dependiente</b> Desempeño sísmico	El desempeño sismorresistente representa la capacidad de una edificación de aceptar diferentes niveles de daños en función de la frecuencia con que se producen y de las consecuencias que tienen (Fernández, 2022).	En cuanto a sus niveles de desempeño, tenemos a los niveles totalmente operacional, operacional, seguridad de vida, pre colapso y colapso.	Totalmente operacional	No ocurren daños
			Operacional	Mínimo daño
			Seguridad de vida	Extensos daños
			Pre colapso	Significante peligro
			Colapso	Elemento falla

## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1. Método de investigación**

##### **Método general**

El objetivo del proceso científico es adquirir conocimiento. Esto es posible gracias a las conexiones que existen entre nuestras ideas, razonamientos y cosas. Cuando hablamos de objetos, nos referimos a cualquier elemento, concepto, persona, circunstancia o curso de acción que sea tema de conocimiento. El método científico, que utiliza conceptos, definiciones, hipótesis, variables e indicadores –los pilares fundamentales del sistema teórico de la ciencia– es el proceso metódico que sigue un investigador para determinar la verdad sobre el tema que está estudiando (Ruiz y Valenzuela, 2022). Por esta razón, el método científico fue el enfoque general.

##### **Método específico**

Según Andrade et al. (2018), es un enfoque único que puede ser utilizado para adquirir información científica, y puede ser aplicado a las ciencias formales (como la lógica, las matemáticas y la filosofía). Los pasos primarios que desarrolla este método son los siguientes: la observación del fenómeno que se va a estudiar, la formulación de una hipótesis para explicar el fenómeno que se estudia, la deducción de las consecuencias o proposiciones más fundamentales que la propia hipótesis, y la verificación o comprobación de la verdad de las afirmaciones que se han deducido comparando dichas afirmaciones con la experiencia. Por este motivo, el método concreto que se utilizó fue el método hipotético-deductivo.

#### **4.2. Tipo de investigación**

Un ejemplo de «investigación aplicada» es un estudio que aplica métodos y conocimientos científicos a situaciones del mundo real para identificar soluciones. El objetivo de la investigación aplicada es desarrollar soluciones o innovaciones para determinados procedimientos, herramientas, directrices o normas. No es el caso de la investigación básica, cuyo objetivo es avanzar en la comprensión teórica sin considerar ninguna aplicación directa. Este tipo de investigación suele realizarse en áreas en las que los resultados pueden afectar directa y palpablemente a la sociedad, según Tacillo (2016). La ingeniería, la salud, la educación y las ciencias sociales son algunos de estos campos. La investigación fue del tipo aplicada como resultado de los factores arriba indicados.

#### **4.3. Nivel de investigación**

La investigación a nivel explicativo elabora hipótesis (es decir, supuestos teóricos o presunciones que pueden probarse experimentalmente, ya sea de forma directa o indirecta), que sirven de base a su marco teórico, antes de pasar a las mediciones. La investigación explicativa establece prioridades, crea definiciones operativas y proporciona un modelo más profundo al examinar un problema al que no se ha prestado suficiente atención en el pasado. En realidad, es un tipo de diseño de investigación en el que el objetivo principal es aclarar algunos aspectos del estudio. El propósito del estudio explicativo es aumentar la comprensión del investigador sobre un tema específico (Hernández y Mendoza, 2018). Por su débil sustento estadístico, no puede arrojar resultados definitivos; sin embargo, permite al investigador explicar cómo y por qué ocurren los hechos, lo que le da al presente estudio un nivel explicativo.

#### **4.4. Diseño de investigación**

Según Príncipe (2018), la investigación experimental es un tipo de estudio que implica la obtención de datos a través de la experimentación y la posterior comparación de esos datos con elementos constantes. En otras palabras, la experimentación experimental es un tipo de investigación. El objetivo de esta investigación es determinar los factores que contribuyen al fenómeno que se está investigando, así como las repercusiones que tiene. Dicho de otro modo, hay una modificación deliberada de las variables que se están investigando o analizando. El método científico experimental es otro nombre que recibe este enfoque de la comunidad científica. Por esta razón, la presente investigación se llevó a cabo utilizando un diseño experimental.

## **4.5. Población y muestra**

### **Población**

La población se define como el conjunto de hechos, personas, fenómenos y objetos que caen bajo el ámbito de la investigación y que serán explorados durante el proceso de realización de esta, tal y como afirma Tacillo (2016). Por otro lado, la población necesita ser posicionada explícitamente en cuanto a sus características de contenido, lugar y tiempo, todo al mismo tiempo. La población estuvo constituida por las instituciones educativas localizadas en el distrito de San Juan de Lurigancho de la provincia de Lima, departamento de Lima.

### **Muestra**

Según Sánchez (2019), es una fracción muy pequeña de la población la que es capaz de proporcionar información sobre la condición del sujeto de investigación, y es una porción muy pequeña de la población la que es típica de la población. La muestra estuvo conformada por la institución educativa su Santidad Juan Pablo II, del distrito de San Juan de Lurigancho de la provincia de Lima, departamento de Lima. Se tuvo un muestreo no probabilístico del tipo intencional.

## **4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

### **4.6.1. Técnicas de recolección de datos**

De acuerdo con Silvestre y Huamán (2019), las técnicas de investigación son un conjunto de metodologías que el investigador emplea con el fin de abordar un determinado tema o cumplir objetivos particulares. La observación organizacional fue una de las tácticas que se utilizó porque los hechos que se vieron no fueron alterados de ninguna manera. Tanto durante la fase documental como durante el examen de libros, revistas y otras publicaciones pertinentes para nuestra investigación, concedimos a la evaluación el mismo nivel de importancia. Además, se utilizó información recogida en Internet.

### **4.6.2. Instrumentos**

Los documentos que se utilizaron en el proceso de recolección de la información que se requirió para la investigación se conocen como instrumentos de recolección de datos. Según Silvestre y Huamán (2019), el instrumento consistió en una lista de cotejo que estaba compuesta por una colección de ítems que estaban relacionados con las variables que se consideraron para la evaluación. Estos ítems fueron elaborados teniendo en cuenta los objetivos de la investigación.

#### **4.7. Procesamiento de la información**

Para visualizar los datos de la caracterización se utilizaron histogramas y los resultados se almacenaron en Microsoft Excel. La obtención de matrices de datos requiere el formateo de tablas y gráficos (Sánchez, 2019). Esto permite la evaluación, comprensión y obtención de conclusiones por parte del usuario. En el transcurso de la investigación se utilizaron diversos enfoques de modelación y se compararon los resultados con la normativa vigente en el Perú que trata la misma temática. Como resultado, se nos proporcionaron las características y criterios de diseño del estudio, así como medios estadísticos como tablas y figuras.

#### **4.8. Técnicas y análisis de datos**

Se utilizó Excel para realizar una comparación y demostración de los resultados de la estrategia pushover no lineal en relación a los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II ubicada en la ciudad de Lima. En el proceso de diseño se utilizaron tablas y figuras.

## **CAPÍTULO V**

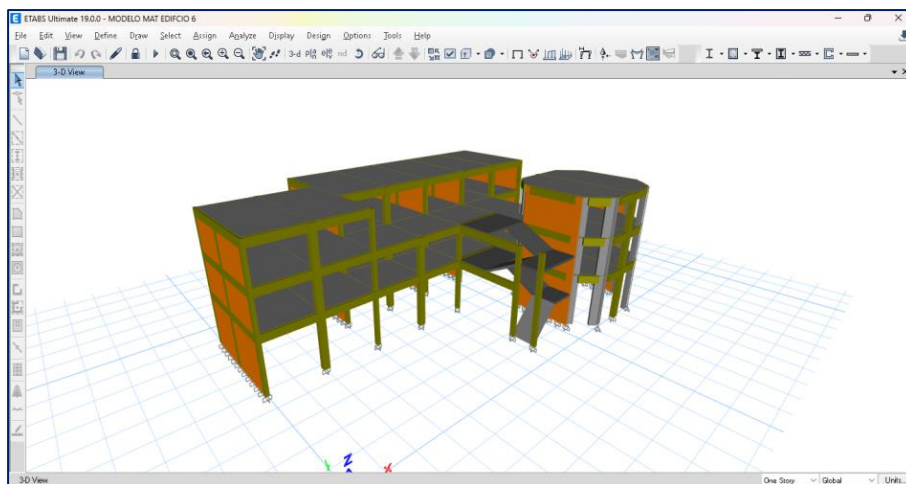
### **RESULTADOS**

Este capítulo presenta las conclusiones más importantes de la investigación, que demuestran los resultados del método no lineal pushover serían significativos en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima. El gobierno local, el gobierno regional e incluso las organizaciones privadas que se preocupan por este problema utilizarán los conocimientos generados por estos resultados para ejecutar reformas en este ámbito. Estas mejoras se aplicarán tanto a nivel individual como organizativo.

El objetivo principal de este estudio fue determinar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2021. Los resultados derivados de los datos se presentaron de forma objetiva y lógica para cumplir este objetivo. A continuación se realizó un análisis estadístico de los datos pertinentes. Estos datos se presentarán en forma de tablas y figuras, se examinarán a la luz de los supuestos planteados y se mostrarán los valores derivados de dichos análisis. Es importante señalar que en este capítulo sólo se incluyen las tablas más relevantes y significativas, ya que nos permitirán verificar o refutar cada uno de los supuestos planteados. Es imposible exagerar la importancia de este punto.

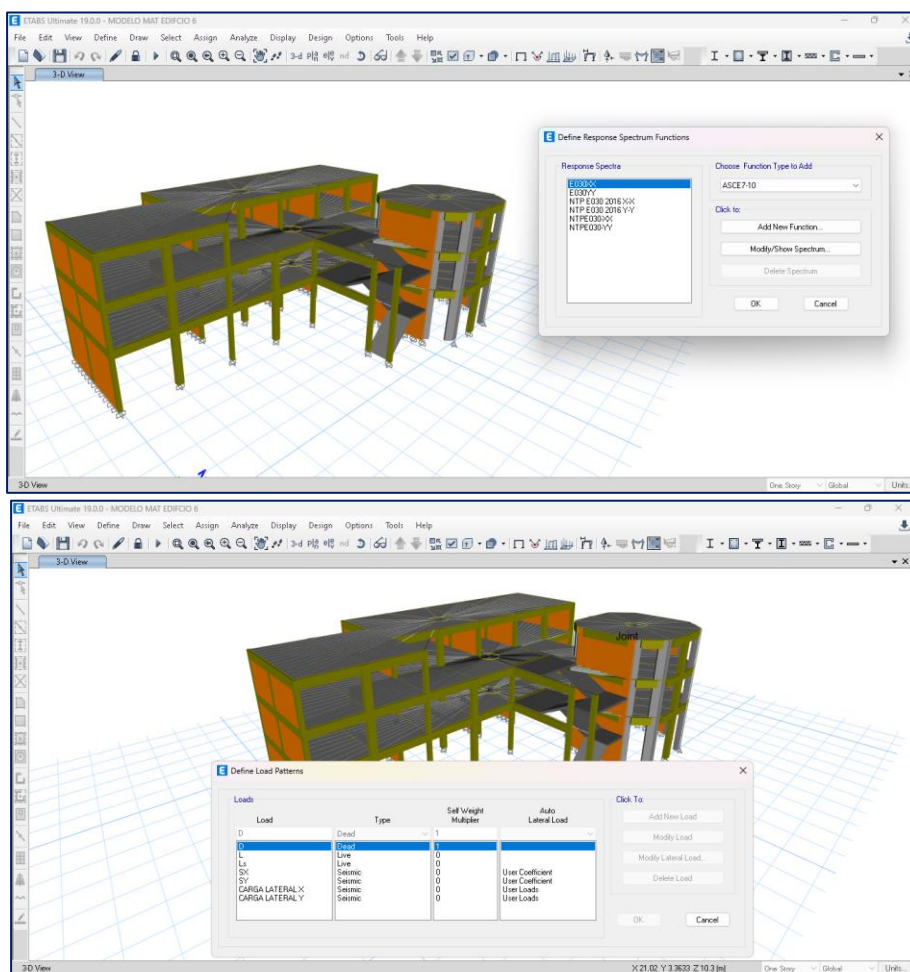
#### **Los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño totalmente operacional de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima**

Para este procedimiento se tuvo que realizar un modelamiento estructural en el software Etabsv19. Como se muestra a continuación:



**Figura 7.** Modelamiento estructural para el nivel de desempeño totalmente operacional

Se realizó un análisis no lineal añadiendo espectros, también los diagramas y cargas como se muestra a continuación:



**Figura 8.** Adición de espectros para el nivel de desempeño totalmente operacional

Para realizar el diseño espectral se usó hojas de cálculo para cada dirección “X” e “Y”.



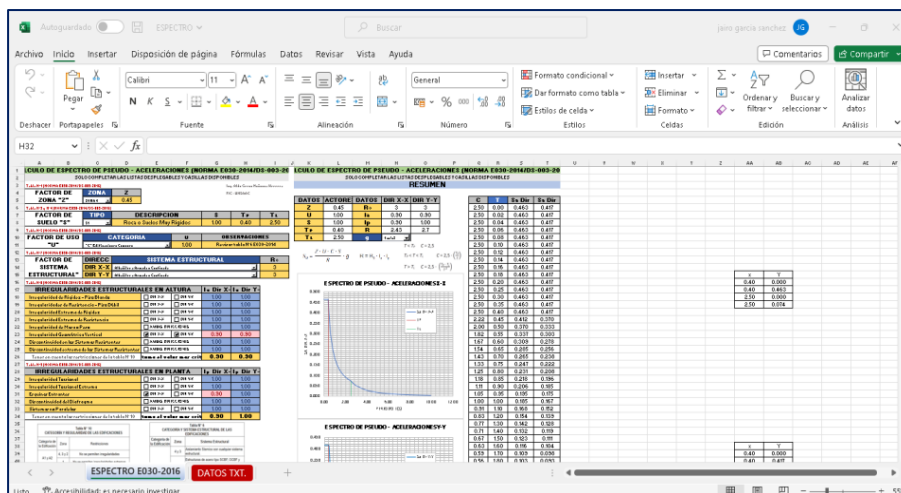


Figura 9. Hojas de cálculo para las direcciones X y Y en el nivel de desempeño totalmente operacional

Para la obtención de las curvas una vez con el modelo corrido, nos dirigimos a display, Static Pushover Curve.

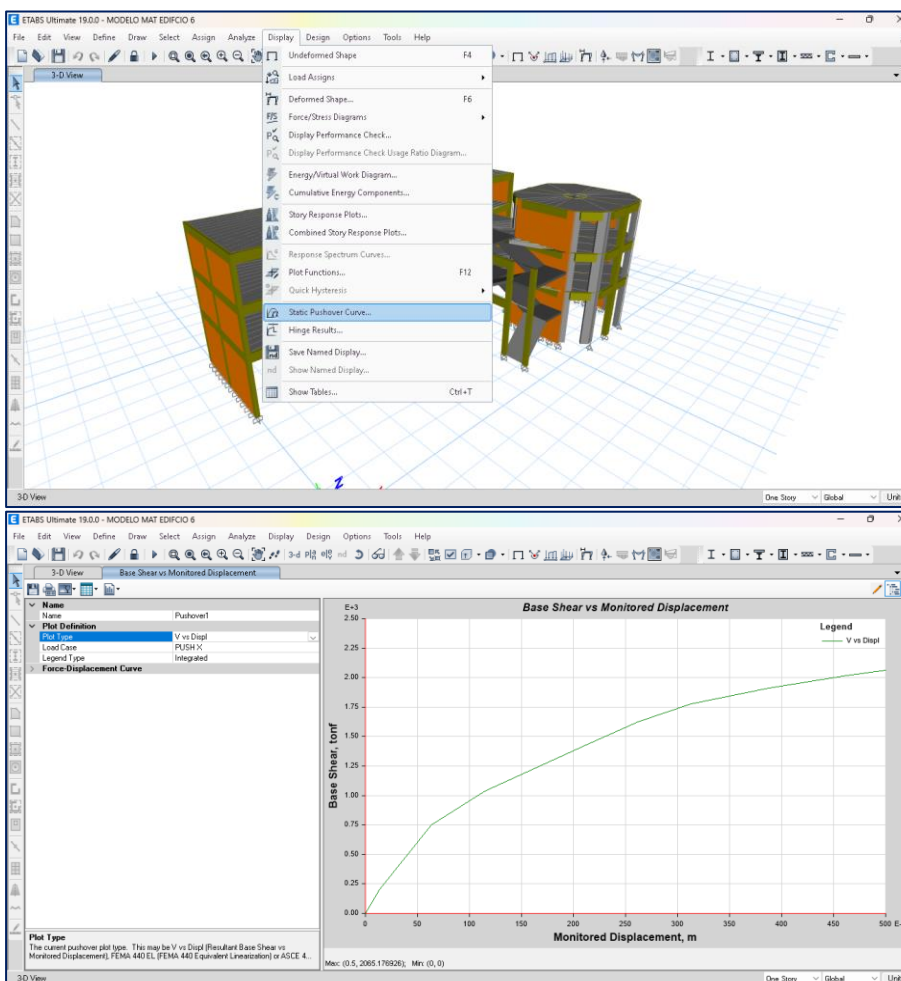
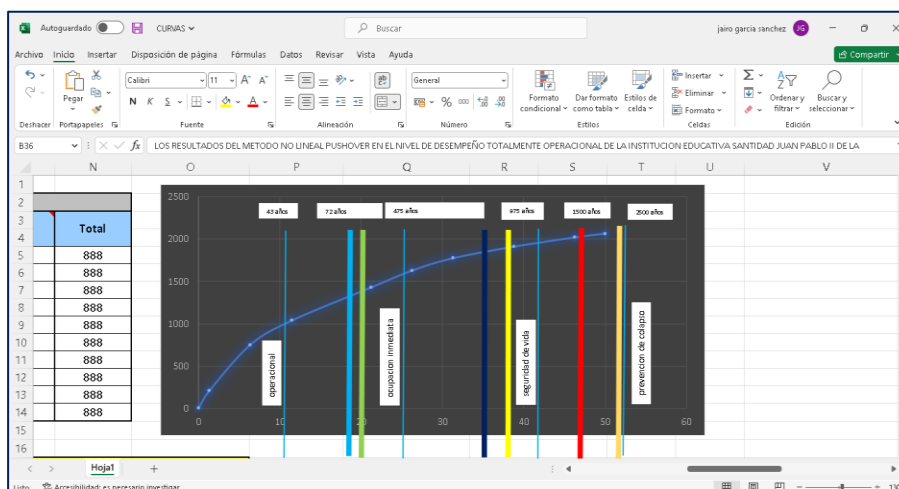


Figura 10. Curvas una vez con el modelo corrido en el nivel de desempeño totalmente operacional

Ya teniendo la curva de capacidad necesitamos sectorizar por porcentajes según indica la norma para ciertos años como se muestra a continuación:



**Figura 11.** Sectorizar por porcentajes según indica la norma para ciertos años en el nivel de desempeño totalmente operacional

Con esta información podemos obtener los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años indicados, como se ve a continuación:

Step	Monitored Displ.	Base Force tonf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	888	0	0	0	0	888	0	0	0	888
1	1.3143	204.0771	896	7	0	0	0	888	0	0	0	888
2	4.3256	750.5787	696	202	0	0	0	888	0	0	0	888
3	11.4957	1038.8711	586	302	0	0	0	888	0	0	0	888
4	21.2456	1430.1861	560	328	0	0	0	642	240	0	6	888
5	26.2456	1628.3014	536	352	0	0	0	602	278	0	8	888
6	31.2829	1774.5845	510	326	52	0	0	590	238	50	10	888
7	38.7629	1910.7354	488	322	76	0	0	558	244	72	14	888
8	46.283	2020.4888	474	250	164	0	0	542	176	88	62	888
9	50	2065.1769	470	222	196	0	0	532	162	108	86	888

**Figura 12.** Desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años indicados en el nivel de desempeño totalmente operacional

Nos enfocaremos en el desempeño totalmente operacional de la institución educativa, y se aprecia que no se encuentra rótulas plásticas en ningún Step.

Step	Monitored Displm	Base Force tonf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	888	0	0	0	0	888	0	0	0	888
1	1.3163	204.0771	886	2	0	0	0	888	0	0	0	888
2	6.3596	750.5787	686	202	0	0	0	888	0	0	0	888
3	11.4957	1038.8711	586	302	0	0	0	888	0	0	0	888
4	21.2456	1430.1061	560	328	0	0	0	642	240	0	6	888
5	26.2456	1628.3014	536	352	0	0	0	602	278	0	8	888
6	31.2829	1774.5845	510	326	52	0	0	590	238	50	10	888
7	38.7829	1910.7354	488	322	78	0	0	558	244	72	14	888
8	46.283	2020.4088	474	250	164	0	0	542	176	88	82	888
9	50	2065.1769	470	222	196	0	0	532	162	108	86	888

**Figura 13.** No hay rótulas plásticas en ningún Step en el nivel de desempeño totalmente operacional

En base a los datos obtenidos del software, se podría concluir que el método pushover no lineal en el nivel de desempeño de pleno funcionamiento de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2022 condujo a la ausencia de charnelas plásticas en los elementos estructurales. A esta conclusión se pudo llegar utilizando la información obtenida del software. En la tabla de curvas de capacidad, esto se especificó como una indicación.

**Tabla 2.** Curva de capacidad para el desempeño totalmente operacional

Step	Monitored Displm	Base Force tonf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	888	0	0	0	0	888	0	0	0	888
1	1.3163	204.0771	886	2	0	0	0	888	0	0	0	888
2	6.3596	750.5787	686	202	0	0	0	888	0	0	0	888
3	11.4957	1038.8711	586	302	0	0	0	888	0	0	0	888
4	21.2456	1430.1061	560	328	0	0	0	642	240	0	6	888
5	26.2456	1628.3014	536	352	0	0	0	602	278	0	8	888
6	31.2829	1774.5845	510	326	52	0	0	590	238	50	10	888
7	38.7829	1910.7354	488	322	78	0	0	558	244	72	14	888
8	46.283	2020.4088	474	250	164	0	0	542	176	88	82	888
9	50	2065.1769	470	222	196	0	0	532	162	108	86	888

Estos resultados estarían en consonancia con el ATC-40 (1996), que es un conjunto de métodos para la evaluación de edificios existentes en caso de terremoto y de terremoto de diseño (un terremoto con una probabilidad del 10% de producirse en 50 años). El ATC-40 exige refuerzos mientras se encuentra en las zonas cruciales de pre colapso y colapso porque se prevé que resista el mayor terremoto durante toda la vida útil de la estructura: un terremoto

con una probabilidad del 5% de producirse en 50 años. No se enumeran rigidizadores porque es evidente en las tablas que se ha alcanzado el pleno rendimiento y la estabilidad estructural. Esta medida se adoptó en cumplimiento de la sugerencia del código ATC 40, que garantiza la preservación de la vida humana y la evitación de daños financieros.

Duración del Sismo	Estructura Nueva	Edificio Existente Promedio	Edificio Antiguo
	Diseñadas con norma sismo resistente	Edificios que se planean reforzar	Edificios con Incertidumbre De resistencia
Periodo Corto	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Periodo Largo	Tipo B	Tipo C	Tipo C

**3.3 Determinación del Punto de Desempeño**

El punto de desempeño representa el máximo desplazamiento de la estructura esperado para una determinada demanda sísmica. Su localización es aproximada y puede estar dentro de un intervalo de aceptabilidad del 5% del dpi a cada lado.

Para simplificar el procedimiento de encontrar este punto de intersección ATC-40 propone 3 procedimientos simplificados, de los cuales solo se describirá el primero.

**3.3.1 Procedimiento A**

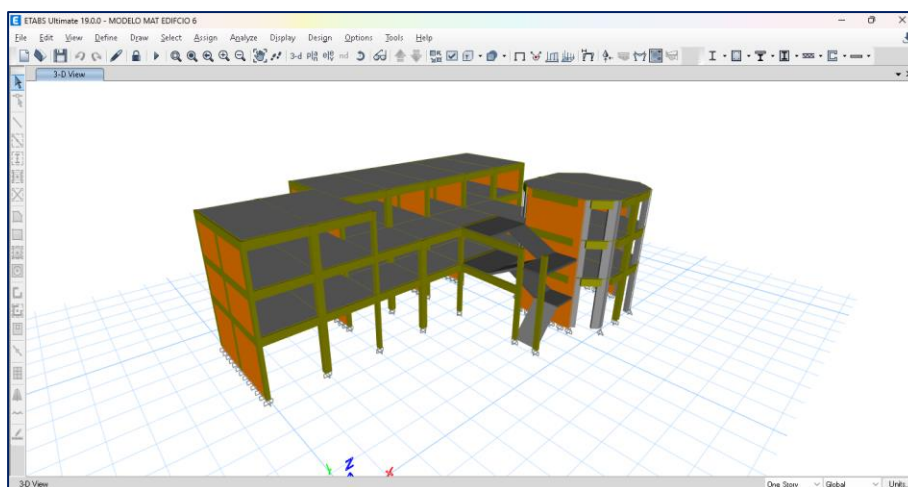
Se emplea este *procedimiento analítico* porque permite aplicar el concepto del método de espectro capacidad, por su sencillez y posibilidad para ser programado.

14 | Página

**Figura 14.** Norma ATC-40 para su interpretación en el nivel de desempeño totalmente operacional

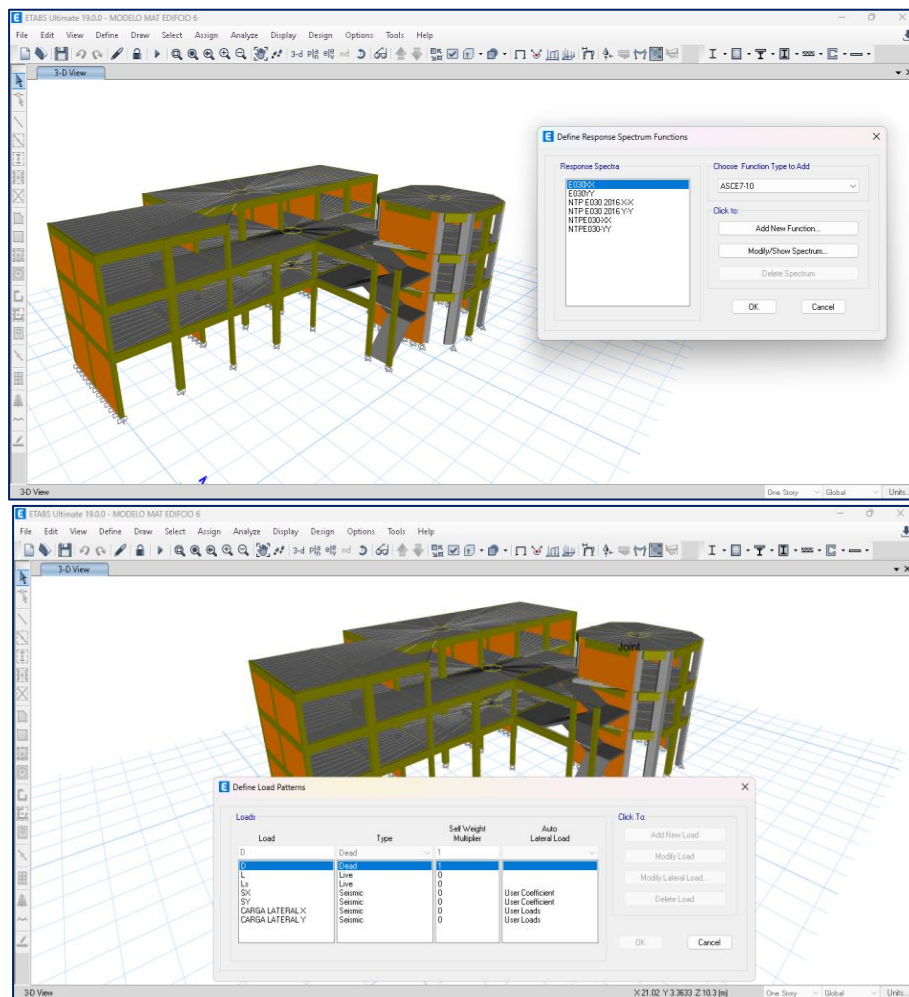
## Los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño operacional de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima

Para este procedimiento se tuvo que realizar un modelamiento estructural en el software Etabsv19. Como se muestra a continuación:



**Figura 15.** Modelamiento estructural para evaluar en el nivel de desempeño operacional

Se realizó un análisis no lineal añadiendo espectros, también los diagramas y cargas como se muestra a continuación.



**Figura 16.** Adición de espectros para evaluar en el nivel de desempeño operacional

Para realizar el diseño espectral se usó hojas de cálculo para cada dirección “X” e “Y”.

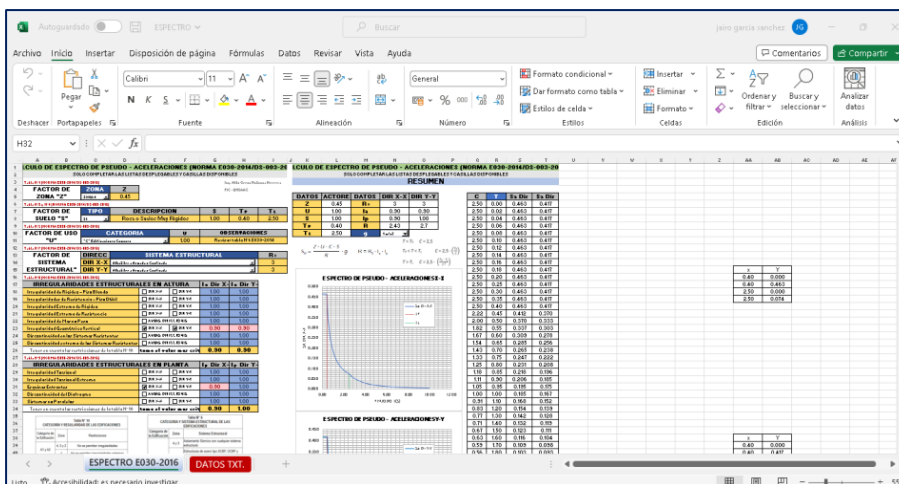


Figura 17. Hojas de cálculo para cada dirección “X” e “Y” para evaluar en el nivel de desempeño operacional

Para la obtención de las curvas una vez con el modelo corrido, nos dirigimos a display, Static Pushover Curve.

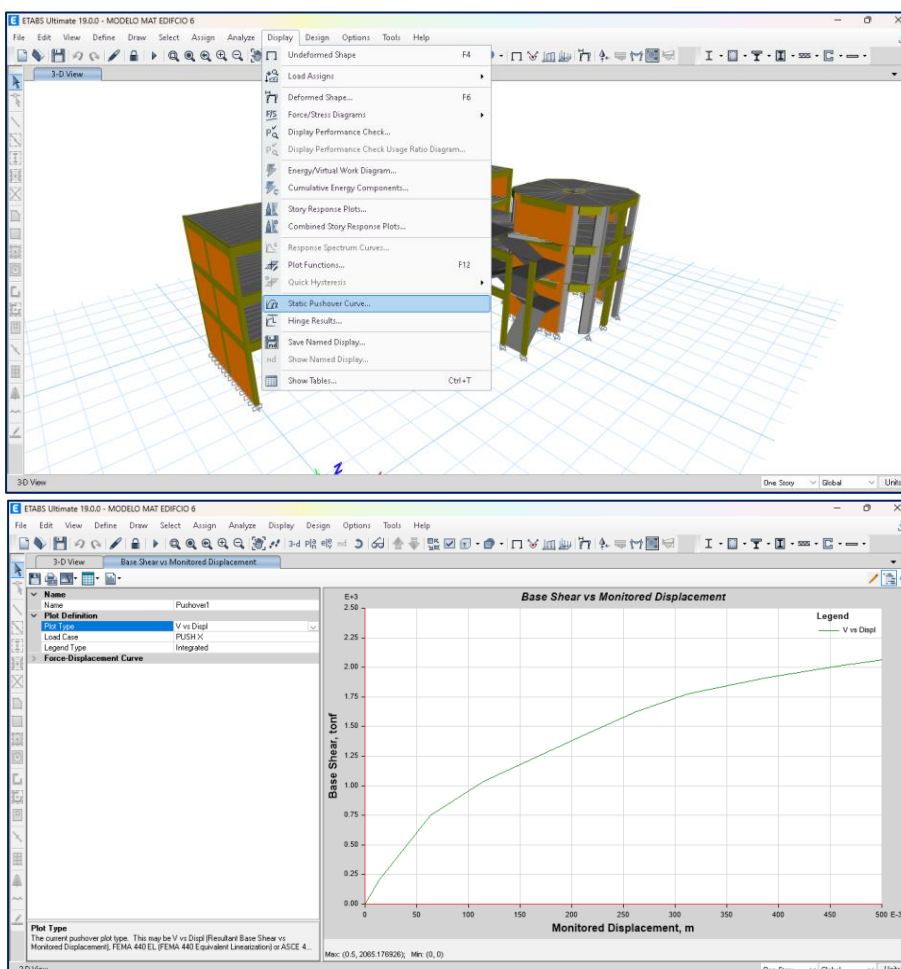
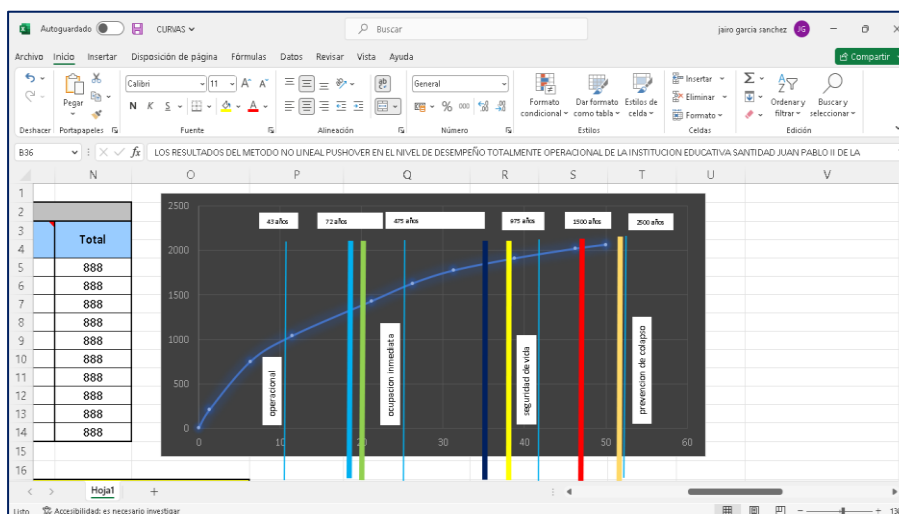


Figura 18. Obtención de las curvas una vez con el modelo corrido para evaluar en el nivel de desempeño operacional.

Ya teniendo la curva de capacidad necesitamos sectorizar por porcentajes según indica la norma para ciertos años como se muestra a continuación.



**Figura 19.** Sectorización por porcentajes según indica la norma para ciertos años para evaluar en el nivel de desempeño operacional.

Con esta información podemos obtener los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años indicados, como se ve a continuación:

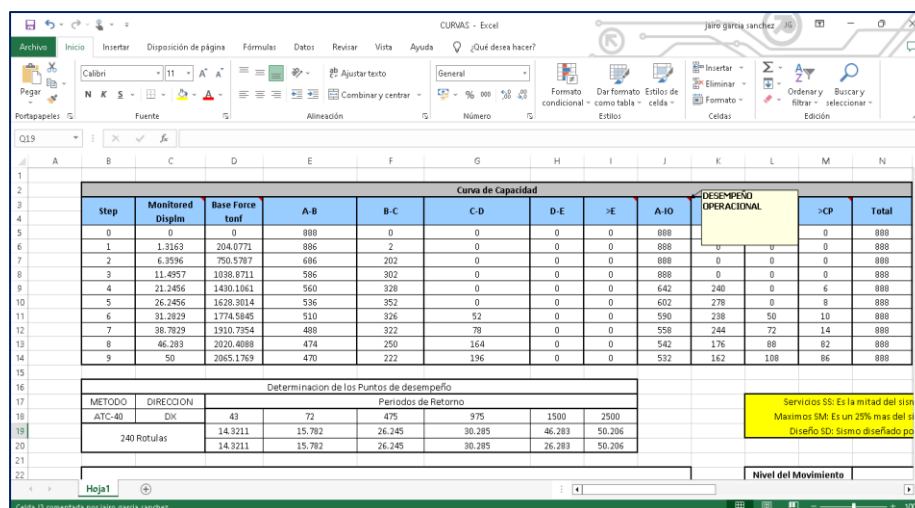
Step	Monitored Diapm	Base Force tonf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	888	0	0	0	0	888	0	0	0	888
1	1.3163	264.0771	886	2	0	0	0	888	0	0	0	888
2	6.3596	750.5767	686	202	0	0	0	888	0	0	0	888
3	11.4957	1036.9711	586	302	0	0	0	888	0	0	0	888
4	21.2456	1426.1051	500	388	0	0	0	642	240	0	6	888
5	26.2456	1628.3014	536	352	0	0	0	602	278	0	8	888
6	31.2829	1774.5845	510	326	52	0	0	590	298	50	10	888
7	38.7829	1910.7954	488	322	78	0	0	558	244	72	14	888
8	46.283	2020.4088	474	250	164	0	0	542	176	88	82	888
9	50	2065.1769	470	222	196	0	0	532	162	108	86	888

Método		Períodos de Retorno			
ATC-40	DX	43	72	475	975
240 Rotulas	14.3211	15.782	26.245	30.285	46.283
	14.3211	15.782	26.245	30.285	26.283

**Figura 20.** Obtención de los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años para evaluar en el nivel de desempeño operacional

El rendimiento operativo del centro de enseñanza será el principal objeto de nuestra atención. Como vemos, hemos llegado a la conclusión de que si se descubren rótulas de plástico desde el paso 0 con un máximo de 888 rótulas de plástico.



**Figura 21.** Análisis de rótulas plásticas en el nivel de desempeño operacional

En base a los datos obtenidos del software, se puede concluir que los resultados del método pushover no lineal a nivel del comportamiento operacional de la institución educativa Santidad Juan Pablo II, ubicada en la ciudad de Lima, es que se observarán charnelas plásticas en los elementos estructurales. Esto se demuestra en la tabla de curvas de capacidad, que se encuentra a continuación:

**Tabla 3.** Curva de capacidad para el desempeño operacional

Step	Monitored Displm	Base Force tonf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	888	0	0	0	0	888	0	0	0	888
1	1.3163	204.0771	886	2	0	0	0	888	0	0	0	888
2	6.3596	750.5787	686	202	0	0	0	888	0	0	0	888
3	11.4957	1038.8711	586	302	0	0	0	888	0	0	0	888
4	21.2456	1430.1061	560	328	0	0	0	642	240	0	6	888
5	26.2456	1628.3014	536	352	0	0	0	602	278	0	8	888
6	31.2829	1774.5845	510	326	52	0	0	590	238	50	10	888
7	38.7829	1910.7354	488	322	78	0	0	558	244	72	14	888
8	46.283	2020.4088	474	250	164	0	0	542	176	88	82	888
9	50	2065.1769	470	222	196	0	0	532	162	108	86	888

Estos resultados estarían en consonancia con el ATC-40 (1996), un conjunto de recomendaciones para evaluar la seguridad sísmica de los edificios actualmente en construcción y crear una arquitectura antisísmica. Un terremoto de diseño es aquel que tiene un 10% de probabilidades de producirse en los próximos 50 años. El ATC-40 necesita refuerzos en las zonas críticas de pre colapso y colapso para resistir el mayor terremoto estimado que podría producirse durante la vida útil de la estructura, que tiene un 5% de



probabilidades de ocurrir en 50 años. Aunque no habrá pérdidas financieras significativas, los datos indican que se ha alcanzado un nivel de rendimiento operativo, y cumple la recomendación del código ATC 40 de salvaguardar la vida humana.

Duración del Sismo	Estructura Nueva	Edificio Existente Promedio	Edificio Antiguo
	Diseñadas con norma sismo resistente	Edificios que se planean reforzar	Edificios con Incertidumbre De resistencia
Periodo Corto	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Periodo Largo	Tipo B	Tipo C	Tipo C

**3.3 Determinación del Punto de Desempeño**

El punto de desempeño representa el máximo desplazamiento de la estructura esperado para una determinada demanda sísmica. Su localización es aproximada y puede estar dentro de un intervalo de aceptabilidad del 5% del dpi a cada lado.

Para simplificar el procedimiento de encontrar este punto de intersección ATC-40 propone 3 procedimientos simplificados, de los cuales solo se describirá el primero.

**3.3.1 Procedimiento A**

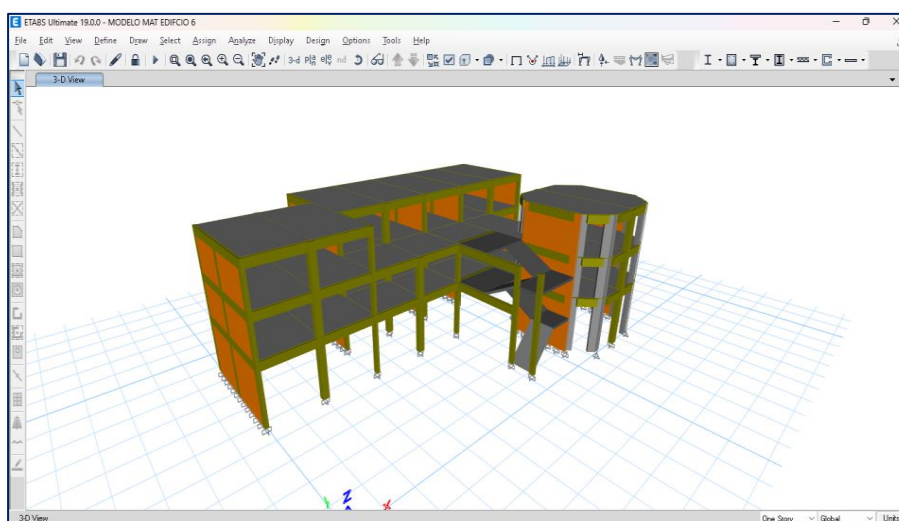
Se emplea este *procedimiento analítico* porque permite aplicar el concepto del método de espectro capacidad, por su sencillez y posibilidad para ser programado.

14 | Página

**Figura 22.** Norma ATC-40 para su interpretación en el nivel de desempeño operacional

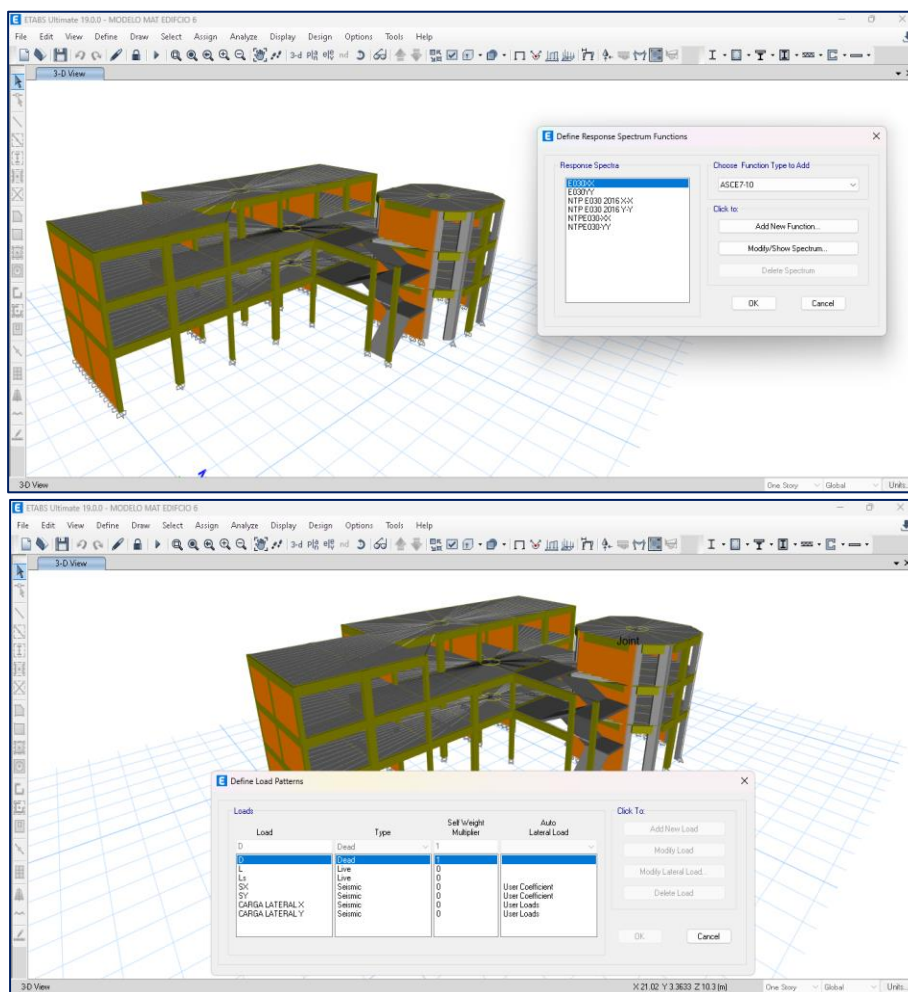
## Los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de seguridad de vida de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima

Para este procedimiento se tuvo que realizar un modelamiento estructural en el software Etabsv19. Como se muestra a continuación:



**Figura 23.** Modelamiento estructural en el nivel de desempeño de seguridad de vida

Se realizó un análisis no lineal añadiendo espectros, también los diagramas y cargas como se muestra a continuación:



**Figura 24.** Adición de espectros en el nivel de desempeño de seguridad de vida

Para realizar el diseño espectral se usó hojas de cálculo para cada dirección “X” e “Y”.

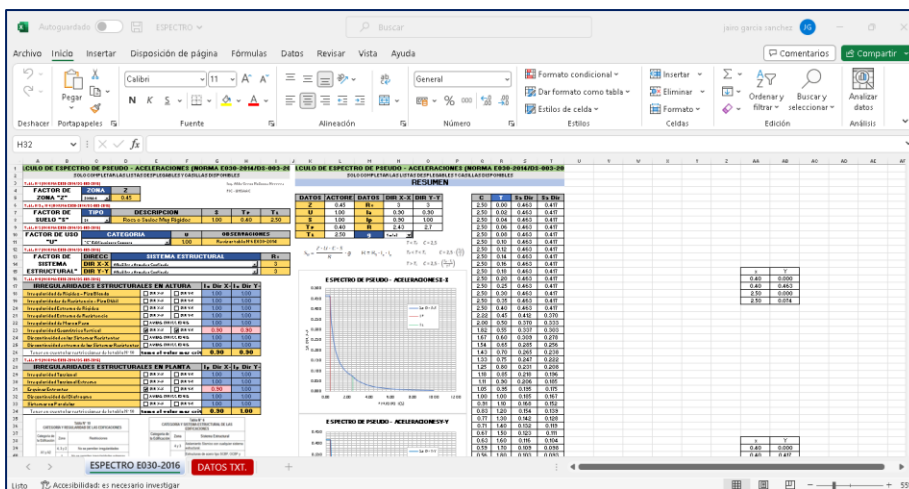


Figura 25. Hojas de cálculo para cada dirección “X” e “Y” para evaluar en el nivel de desempeño de seguridad de vida

Para la obtención de las curvas una vez con el modelo corrido, nos dirigimos a display, Static Pushover Curve.

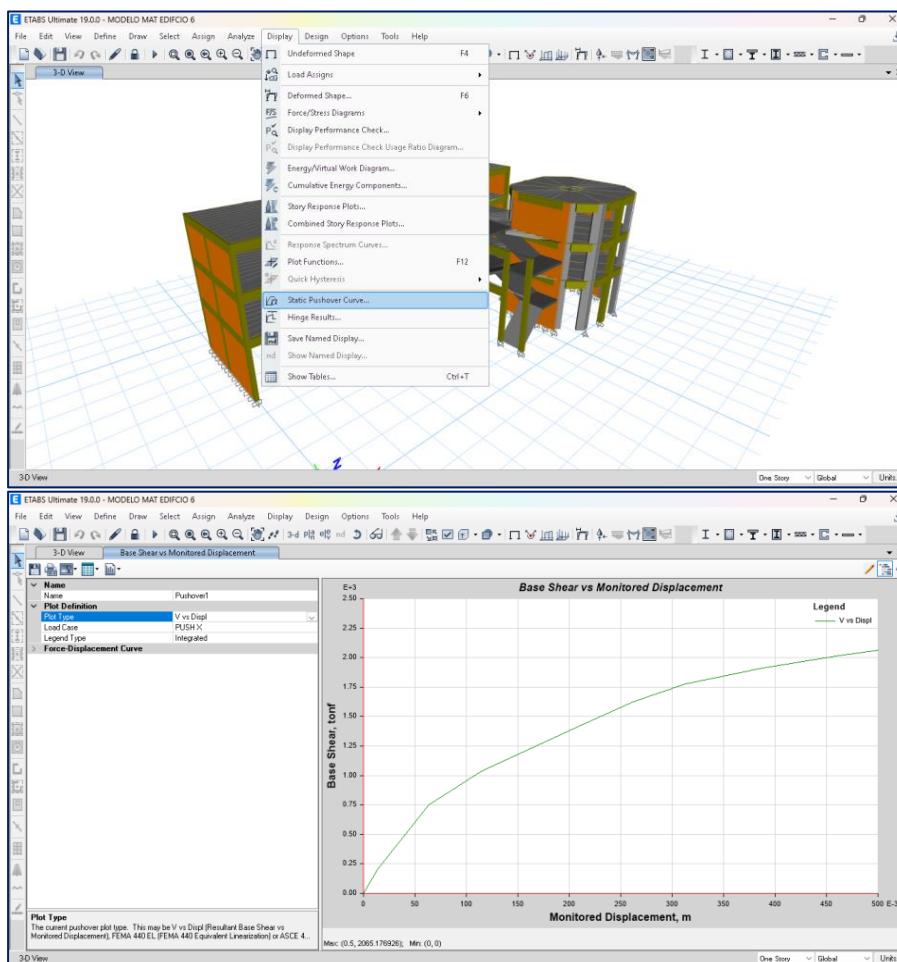
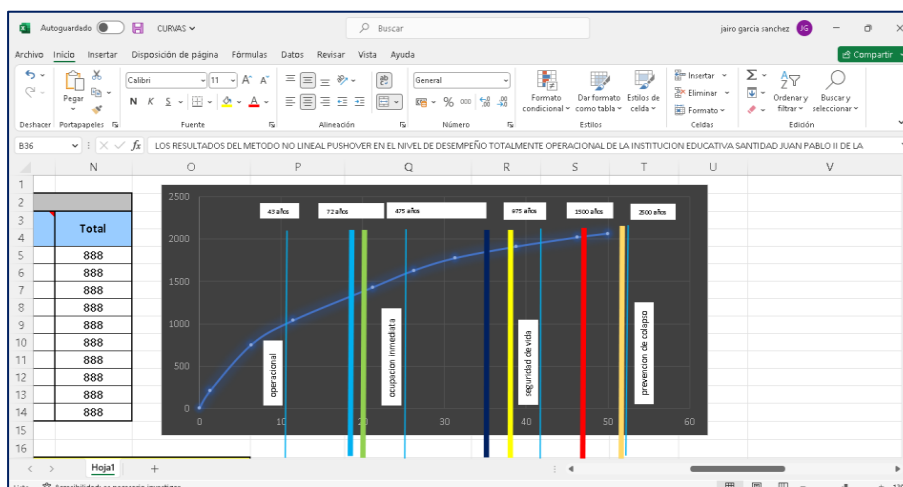


Figura 26. Obtención de las curvas una vez con el modelo corrido para evaluar en el nivel de desempeño de seguridad de vida

Ya teniendo la curva de capacidad necesitamos sectorizar por porcentajes según indica la norma para ciertos años como se muestra a continuación:



**Figura 27.** Sectorización por porcentajes según indica la norma para ciertos años para evaluar en el nivel de seguridad de vida

Con esta información podemos obtener los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años indicados, como se ve a continuación:

Step	Monitored Displim	Base Force tonf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	888	0	0	0	0	888	0	0	0	888
1	1.3163	204.0771	888	2	0	0	0	888	0	0	0	888
2	6.3596	750.5787	696	202	0	0	0	888	0	0	0	888
3	11.4957	1038.8711	586	302	0	0	0	888	0	0	0	888
4	21.2456	1430.1061	560	328	0	0	0	642	240	0	0	888
5	26.2456	1628.3014	536	352	0	0	0	602	278	0	0	888
6	31.2829	1774.5845	510	326	52	0	0	590	238	50	10	888
7	38.7929	1918.7354	488	322	78	0	0	558	244	72	14	888
8	48.2829	2020.4088	474	250	164	0	0	542	176	88	92	888
9	50	2065.1769	470	222	196	0	0	532	162	108	86	888

METODO	DIRECCION	Periodos de Retorno					
		43	72	475	575	1500	2500
ATC-40	DX	14.3211	15.782	26.245	30.285	46.283	50.206
		14.3211	15.782	26.245	30.285	26.283	50.206

**Figura 28.** Obtención de los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años para evaluar en el nivel de seguridad de vida

Como pueden ver, hemos determinado que, a partir del paso 4, hay rótulas de plástico, con un máximo de 278 y un recuento inicial de 240 rótulas. Esto es lo que nuestro enfoque será aquí.

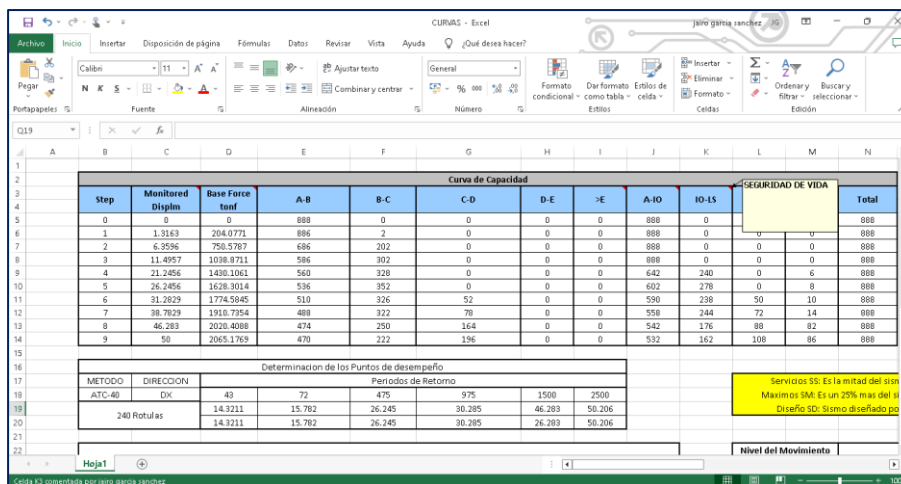


Figura 29. Análisis de rótulas plásticas en el nivel de desempeño de seguridad de vida

Se puede concluir, en base a los datos obtenidos del software, que los resultados del método pushover no lineal en el nivel de seguridad de vida de la institución educativa Santidad Juan Pablo II, ubicada en la ciudad de Lima, es que se observarán charnelas plásticas en los elementos estructurales. Esto se demuestra en la tabla de curvas de capacidad.

Tabla 4. Curva de capacidad para el nivel de desempeño de seguridad de vida

Step	Monitored Displm	Base Force tonf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	888	0	0	0	0	888	0	0	0	888
1	1.3163	204.0771	886	2	0	0	0	888	0	0	0	888
2	6.3596	750.5787	686	202	0	0	0	888	0	0	0	888
3	11.4957	1038.8711	586	302	0	0	0	888	0	0	0	888
4	21.2456	1430.1061	560	328	0	0	0	642	240	0	6	888
5	26.2456	1628.3014	536	352	0	0	0	602	278	0	8	888
6	31.2829	1774.5845	510	326	52	0	0	590	238	50	10	888
7	38.7829	1910.7354	488	322	78	0	0	558	244	72	14	888
8	46.283	2020.4088	474	250	164	0	0	542	176	88	82	888
9	50	2065.1769	470	222	196	0	0	532	162	108	86	888

Estos resultados cumplirían la directriz ATC-40 (1996), que exige el refuerzo de las zonas cruciales previas al colapso y de colapso. En la norma se describe un conjunto de procedimientos para evaluar los edificios existentes tanto para un terremoto máximo previsto durante la vida útil de la estructura, o un terremoto con una probabilidad de ocurrencia del 5% en 50 años, como para un terremoto de diseño, o un terremoto con una probabilidad de ocurrencia del 10% en 50 años. Como muestran las tablas, se ha alcanzado un nivel de

seguridad vital. Esto se ajusta al código ATC 40 previsto, que recomienda proteger la vida humana, a pesar de las grandes pérdidas económicas.

Duración del Sismo	Estructura Nueva	Edificio Existente Promedio	Edificio Antiguo
	Diseñadas con norma sismo resistente	Edificios que se planean reforzar	Edificios con Incertidumbre De resistencia
Periodo Corto	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Periodo Largo	Tipo B	Tipo C	Tipo C

**3.3 Determinación del Punto de Desempeño**

El punto de desempeño representa el máximo desplazamiento de la estructura esperado para una determinada demanda sísmica. Su localización es aproximada y puede estar dentro de un intervalo de aceptabilidad del 5% del dpi a cada lado.

Para simplificar el procedimiento de encontrar este punto de intersección ATC-40 propone 3 procedimientos simplificados, de los cuales solo se describirá el primero.

**3.3.1 Procedimiento A**

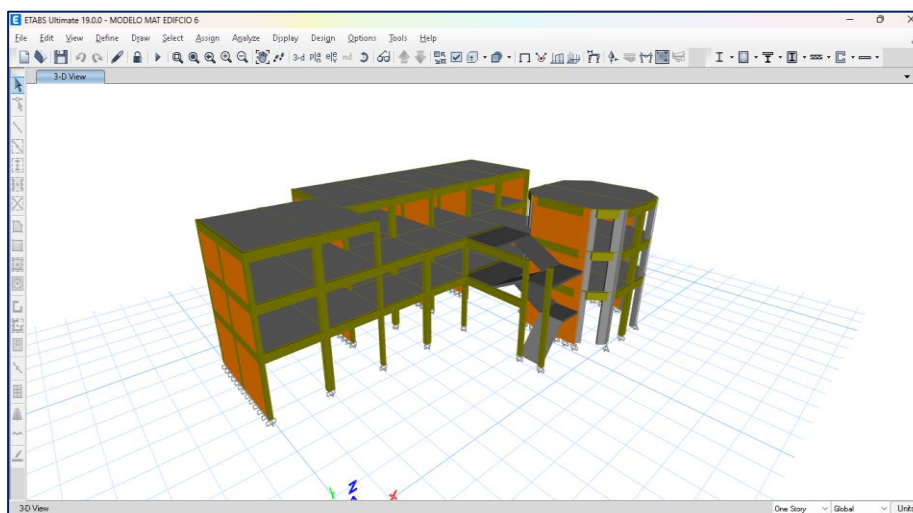
Se emplea este *procedimiento analítico* porque permite aplicar el concepto del método de espectro capacidad, por su sencillez y posibilidad para ser programado.

14 | Página

**Figura 30.** Norma ATC-40 para su interpretación en el nivel de seguridad de vida

## Los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de pre colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima

Para este procedimiento se tuvo que realizar un modelamiento estructural en el software Etabsv19. Como se muestra a continuación:



**Figura 31.** Modelamiento estructural para evaluar en el nivel de desempeño de pre colapso

Se realizó un análisis no lineal añadiendo espectros, también los diagramas y cargas como se muestra a continuación:

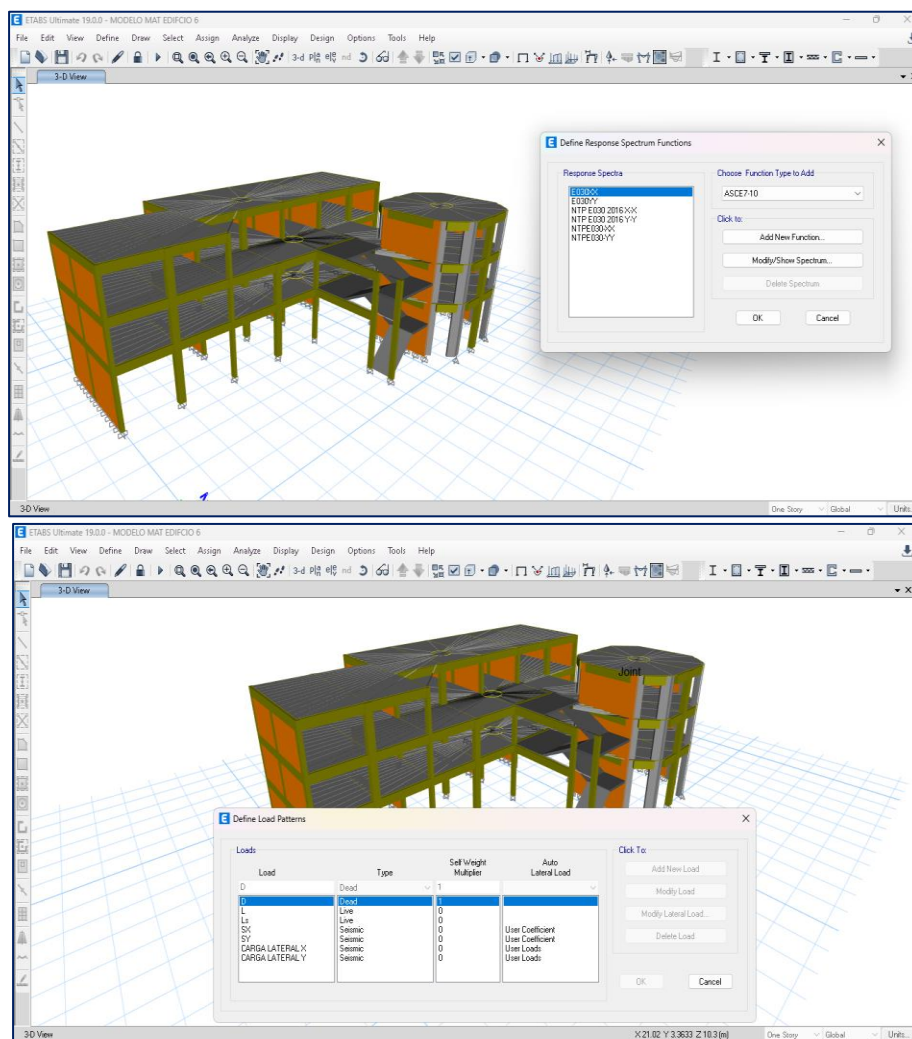
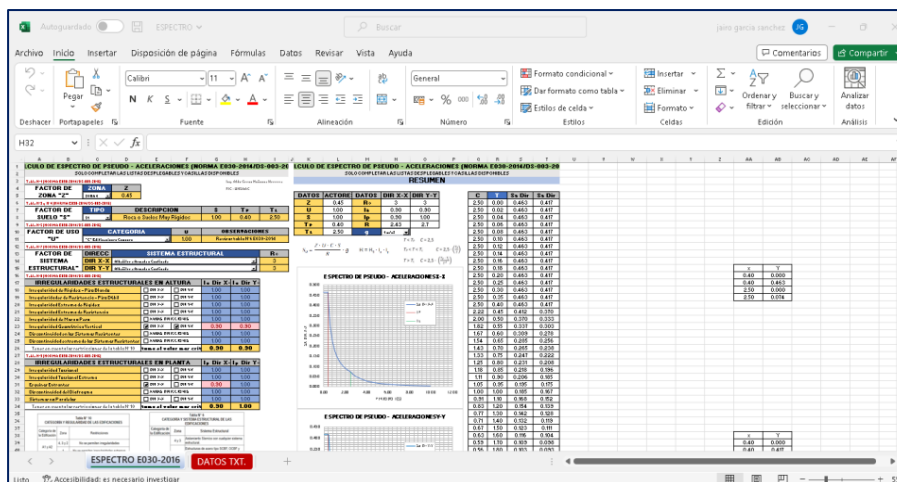


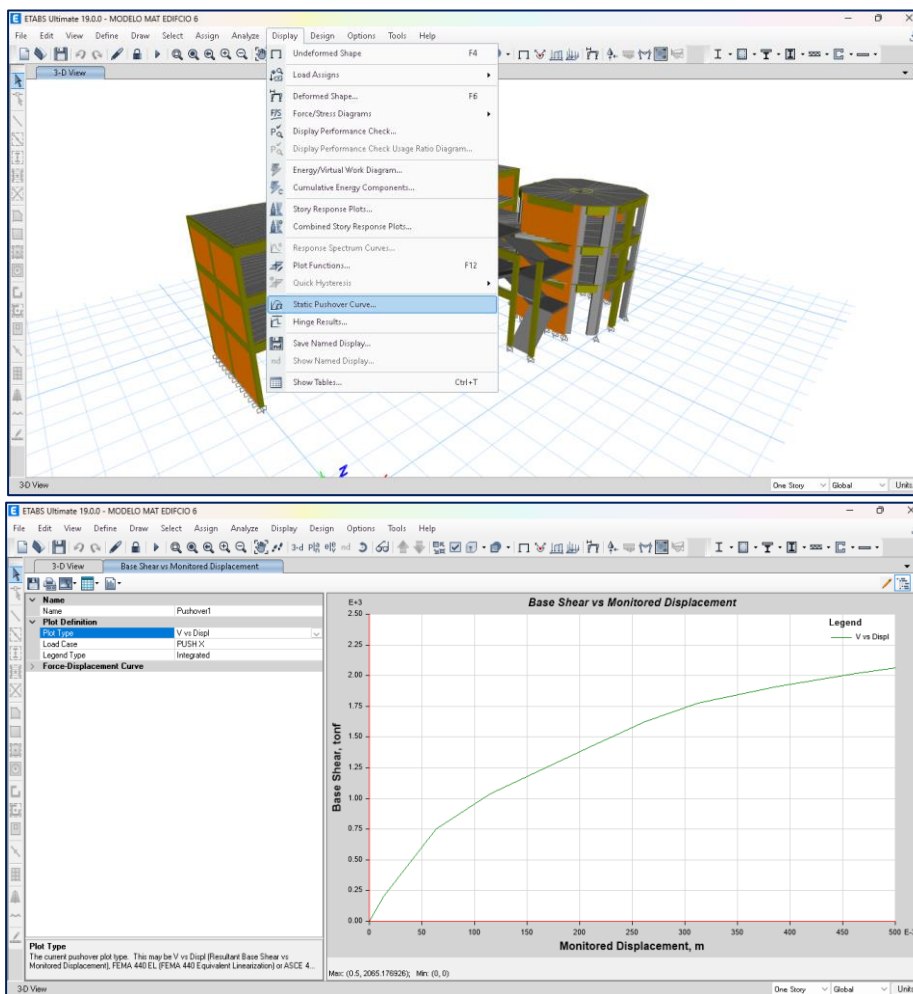
Figura 32. Adición de espectros para evaluar en el nivel de desempeño de pre colapso

Para realizar el diseño espectral se usó hojas de cálculo para cada dirección "X" e "Y".



**Figura 33.** Hojas de cálculo para cada dirección “X” e “Y” para evaluar en el nivel de desempeño de pre colapso

Para la obtención de las curvas una vez con el modelo corrido, nos dirigimos a display, Static Pushover Curve.



**Figura 34.** Obtención de las curvas una vez con el modelo corrido para evaluar en el nivel de desempeño de pre colapso



Ya teniendo la curva de capacidad necesitamos sectorizar por porcentajes según indica la norma para ciertos años como se muestra a continuación:

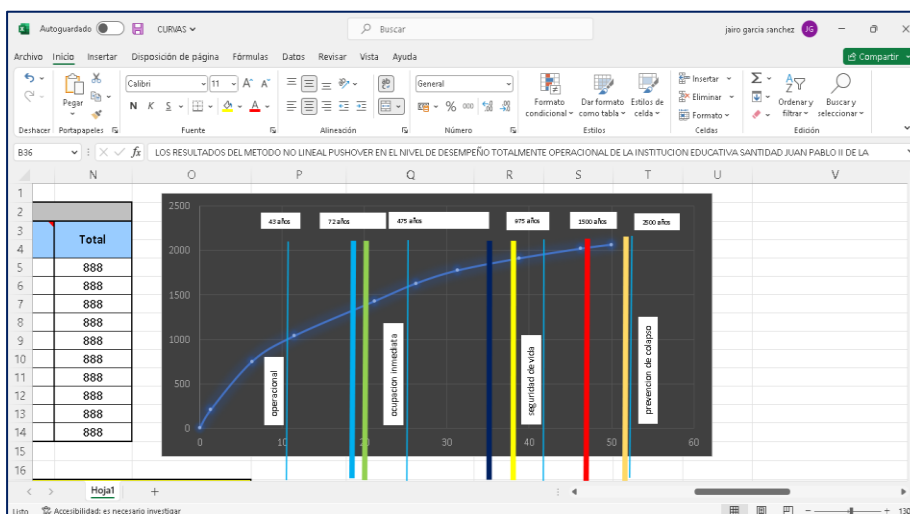


Figura 35. Sectorización por porcentajes según indica la norma para ciertos años para evaluar en el nivel de desempeño de pre colapso

Con esta información podemos obtener los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años indicados, como se ve a continuación:

Step	Monitored Displacement	Base Force	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	888	0	0	0	0	888	0	0	0	888
1	1.3153	204.0771	886	2	0	0	0	888	0	0	0	888
2	6.3586	750.5787	686	202	0	0	0	888	0	0	0	888
3	11.4957	1038.8711	586	302	0	0	0	888	0	0	0	888
4	21.2456	1490.1061	560	328	0	0	0	642	240	0	0	888
5	26.2456	1528.3014	536	352	0	0	0	602	276	0	0	888
6	31.2829	1774.5845	510	326	52	0	0	590	238	50	10	888
7	38.7829	1910.7954	488	322	78	0	0	558	244	72	14	888
8	46.283	2020.4088	474	250	164	0	0	542	176	88	82	888
9	50	2065.1769	470	222	196	0	0	532	162	108	86	888

METODO		DIRECCION		Periodos de Retorno			
ATC-40	DIX	48	72	475	975	1500	2500
		14.3211	15.782	26.245	30.285	46.283	50.206
240 Rotular		14.3211	15.782	26.245	30.285	26.283	50.206

Figura 36. Obtención de los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años para evaluar en el nivel de desempeño de pre colapso

El comportamiento de la escuela antes del colapso es objeto de nuestra atención. Como vemos, hemos comprobado que existen bisagras de plástico a partir del paso 6, con una cantidad inicial de cincuenta bisagras y una cantidad máxima posible de 108 bisagras.

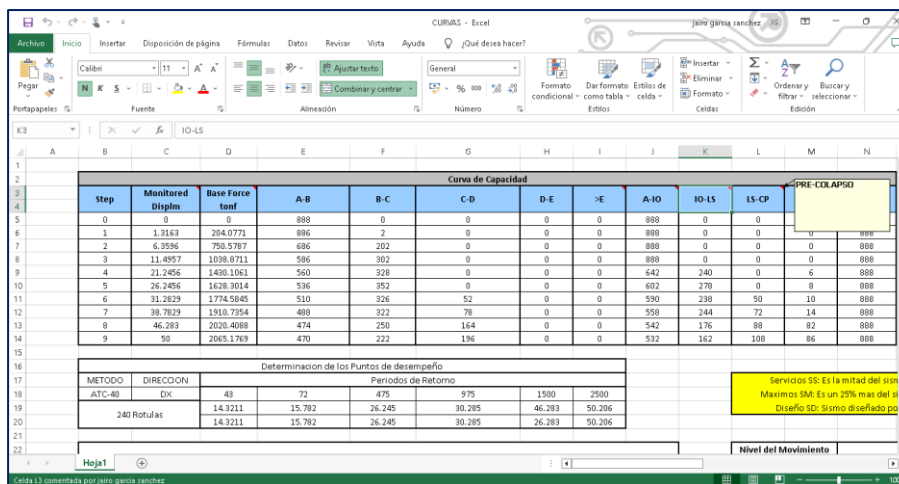


Figura 37. Análisis de rótulas plásticas en el nivel de desempeño de pre colapso

Tomando en consideración los datos que se obtuvieron del programa, es posible concluir que los resultados del enfoque pushover no lineal en el nivel de pre colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II, ubicada en la ciudad de Lima, son los siguientes: Como lo demuestra la tabla de curvas de capacidad, los elementos estructurales contienen bisagras plásticas que se aprecian aquí y allá.

Tabla 5. Curva de capacidad para el desempeño de pre colapso

Step	Monitored Displm	Base Force tonf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	888	0	0	0	0	888	0	0	0	888
1	1.3163	204.0771	886	2	0	0	0	888	0	0	0	888
2	6.3596	750.5787	686	202	0	0	0	888	0	0	0	888
3	11.4957	1038.8711	586	302	0	0	0	888	0	0	0	888
4	21.2456	1430.1061	560	328	0	0	0	642	240	0	6	888
5	26.2456	1628.3014	536	352	0	0	0	602	278	0	8	888
6	31.2829	1774.5845	510	326	52	0	0	590	238	50	10	888
7	38.7829	1910.7354	488	322	78	0	0	558	244	72	14	888
8	46.283	2020.4088	474	250	164	0	0	542	176	88	82	888
9	50	2065.1769	470	222	196	0	0	532	162	108	86	888

Estas conclusiones no cumplirían los requisitos del ATC-40 (1996), que proporciona una serie de directrices para evaluar las estructuras existentes tanto para un terremoto de diseño (un terremoto con una probabilidad del 10% de producirse en 50 años) como para un terremoto de vida útil máxima prevista (un terremoto con una probabilidad del 5% de producirse en 1500 años). Demuestra que la seguridad vital no está protegida porque no sigue el código ATC-40 previsto. El refuerzo es necesario mientras se está en las zonas cruciales de pre colapso y

colapso, según el ATC-40. Las tablas demuestran que habrá una pérdida económica considerable y que se alcanzó un nivel de rendimiento previo al derrumbe.

Duración del Sismo	Estructura Nueva	Edificio Existente Promedio	Edificio Antiguo
	Diseñadas con norma sismo resistente	Edificios que se planean reforzar	Edificios con Incertidumbre De resistencia
Periodo Corto	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Periodo Largo	Tipo B	Tipo C	Tipo C

**3.3 Determinación del Punto de Desempeño**

El punto de desempeño representa el máximo desplazamiento de la estructura esperado para una determinada demanda sísmica. Su localización es aproximada y puede estar dentro de un intervalo de aceptabilidad del 5% del dpi a cada lado.

Para simplificar el procedimiento de encontrar este punto de intersección ATC-40 propone 3 procedimientos simplificados, de los cuales solo se describirá el primero.

**3.3.1 Procedimiento A**

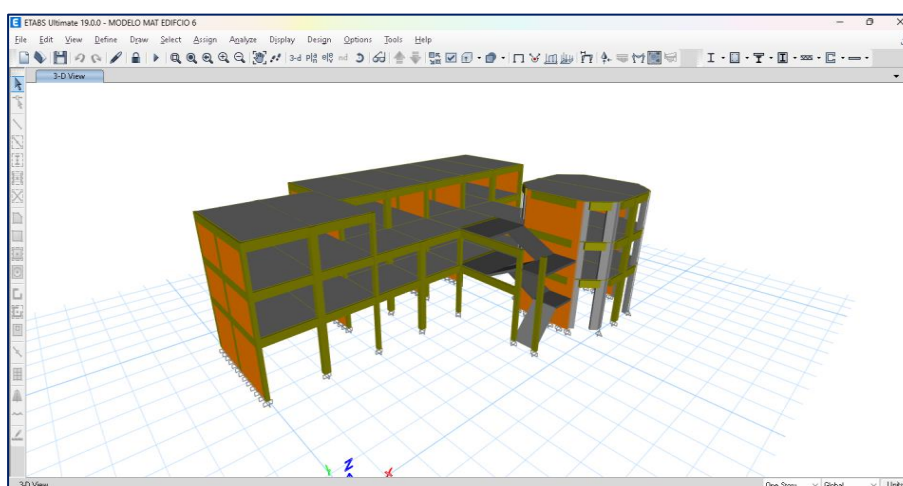
Se emplea este *procedimiento analítico* porque permite aplicar el concepto del método de espectro capacidad, por su sencillez y posibilidad para ser programado.

14 | Página

**Figura 38.** Norma ATC-40 para su interpretación en el nivel de desempeño de pre colapso

## Los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima

Para este procedimiento se tuvo que realizar un modelamiento estructural en el software Etabsv19. Como se muestra a continuación:



**Figura 39.** Modelamiento estructural en el nivel de desempeño de colapso

Se realizó un análisis no lineal añadiendo espectros, también los diagramas y cargas como se muestra a continuación:

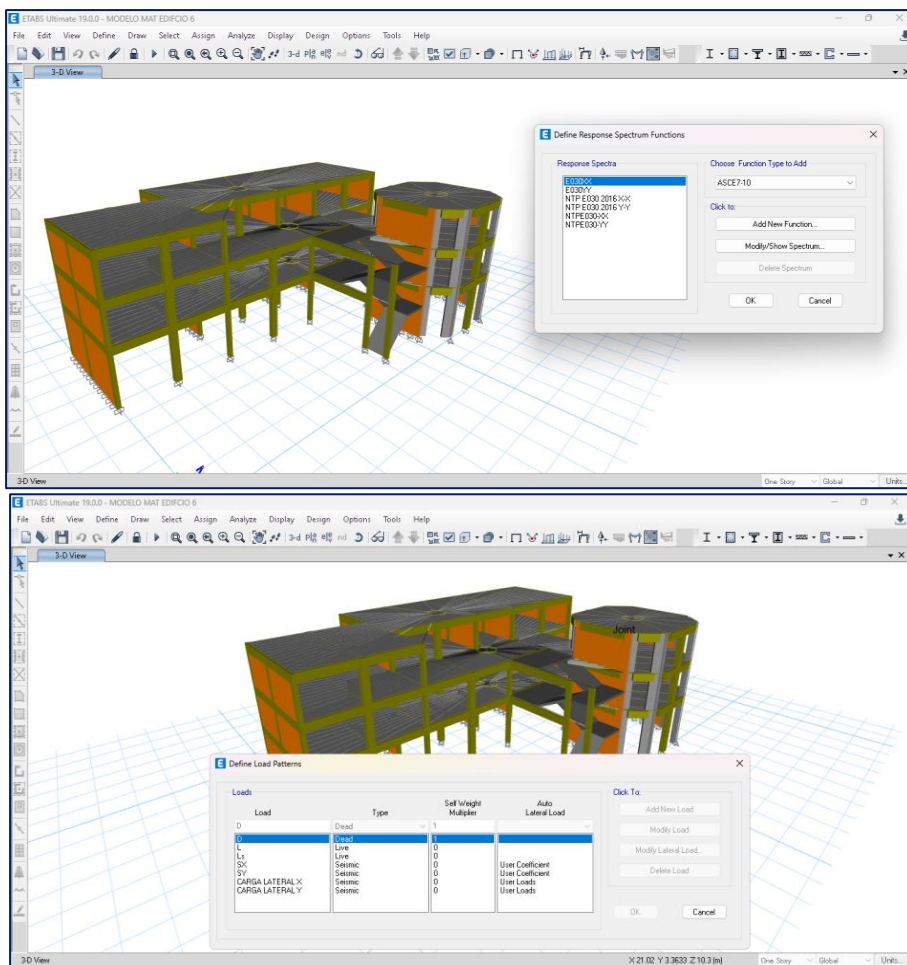


Figura 40. Adición de espectros en el nivel de desempeño de colapso

Para realizar el diseño espectral se usó hojas de cálculo para cada dirección “X” e “Y”.

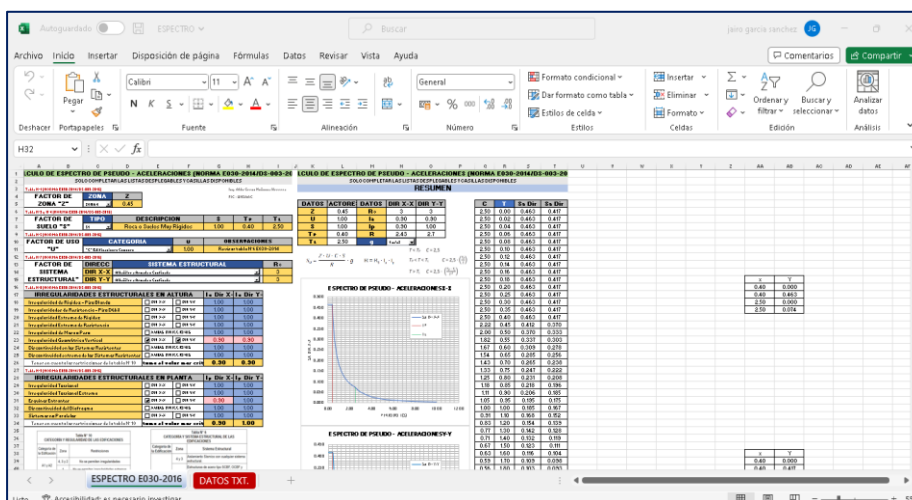
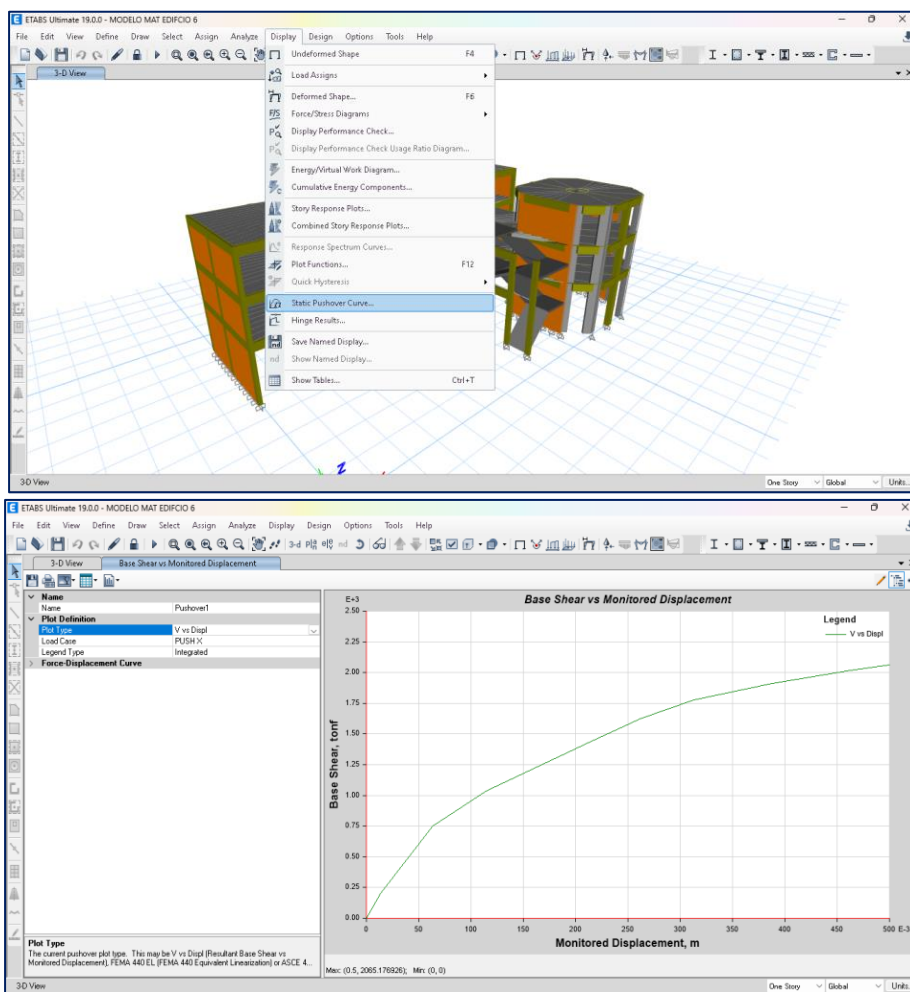


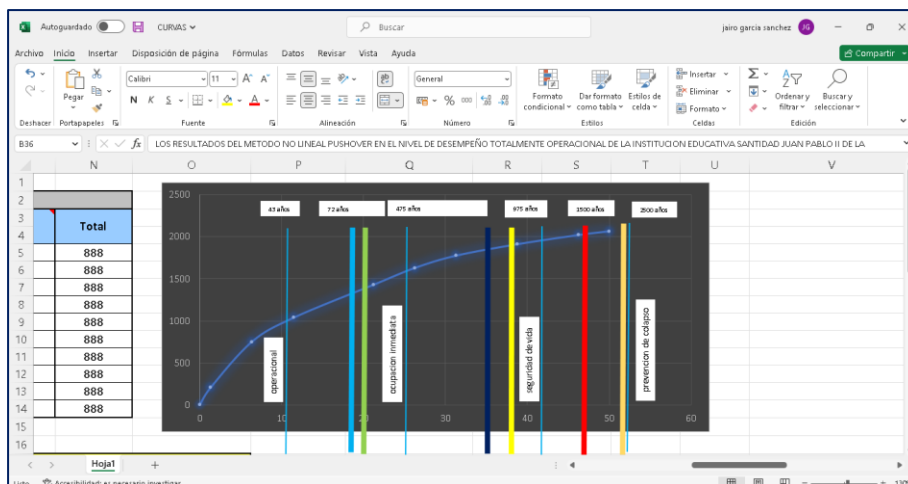
Figura 41. Hojas de cálculo para cada dirección “X” e “Y” para evaluar en el nivel de desempeño de colapso

Para la obtención de las curvas una vez con el modelo corrido, nos dirigimos a display, Static Pushover Curve.



**Figura 42.** Obtención de las curvas una vez con el modelo corrido para evaluar en el nivel de desempeño de colapso

Ya teniendo la curva de capacidad necesitamos sectorizar por porcentajes según indica la norma para ciertos años como se muestra a continuación:



**Figura 43.** Sectorización por porcentajes según indica la norma para ciertos años para evaluar en el nivel de colapso

Con esta información podemos obtener los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años indicados, como se ve a continuación:

Step	Monitoreo Diplm	Base Force tonf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	888	0	0	0	0	888	0	0	0	888
1	1.3163	204.0771	886	2	0	0	0	888	0	0	0	888
2	6.3596	750.5767	686	202	0	0	0	888	0	0	0	888
3	11.4957	1028.8711	586	302	0	0	0	888	0	0	0	888
4	21.2456	1420.1061	550	338	0	0	0	542	240	0	0	888
5	26.2456	1628.3014	536	352	0	0	0	602	278	0	0	888
6	31.2829	1774.5845	510	326	52	0	0	590	238	50	10	888
7	38.7829	1910.7354	488	322	78	0	0	558	244	72	14	888
8	46.283	2020.4088	474	250	164	0	0	542	176	88	82	888
9	50	2065.1769	470	222	196	0	0	532	162	108	86	888

METODO	DIRECCION	Periodos de Retorno					
		42	72	475	975	1900	2500
ATC-40	DX	14.3211	15.782	26.245	30.285	46.283	50.286
240 Rotulas		14.3211	15.782	26.245	30.285	26.283	50.286

Servicios SS: Es la mitad del sismo  
Maximos SM: Es un 25% más del sismo  
Diseño SD: Sismo diseñado por el

**Figura 44.** Obtención de los desempeños sísmicos de la estructura para ciertos años para evaluar en el nivel de desempeño de colapso.

Como podemos ver, hemos descubierto que las rótulas de plástico se descubren a partir del paso 4, con un mínimo de seis rótulas y un máximo de 86 rótulas.

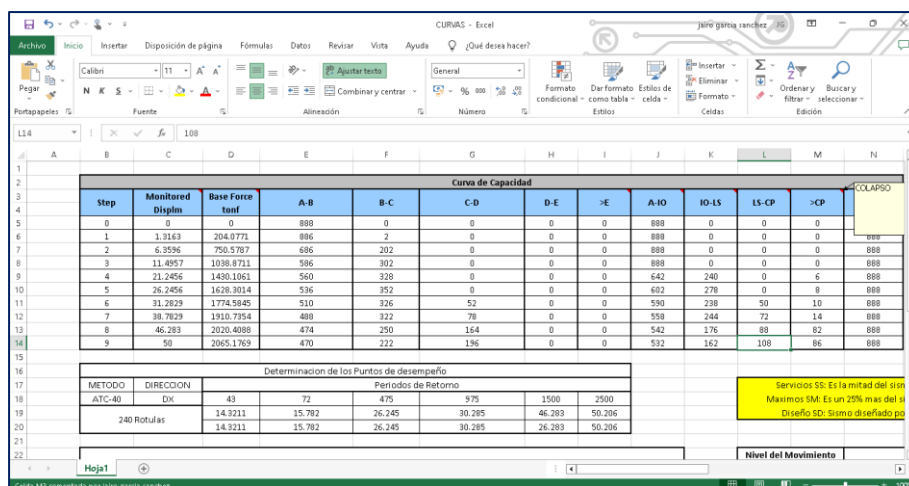


Figura 45. Análisis de rótulas plásticas en el nivel de desempeño de colapso

En base a los datos recogidos del programa, se puede concluir que el resultado del método pushover no lineal utilizado para el nivel de colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II, ubicada en la ciudad de Lima, es el siguiente: Como lo demuestra la tabla de curvas de capacidad, los elementos estructurales contienen bisagras plásticas que se aprecian aquí y allá.

Tabla 6. Curva de capacidad para el nivel de desempeño de colapso

Step	Monitored Displm	Base Force tonf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	888	0	0	0	0	888	0	0	0	888
1	1.3163	204.0771	886	2	0	0	0	888	0	0	0	888
2	6.3596	750.5787	686	202	0	0	0	888	0	0	0	888
3	11.4957	1038.8711	586	302	0	0	0	888	0	0	0	888
4	21.2456	1430.1061	560	328	0	0	0	642	240	0	6	888
5	26.2456	1628.3014	536	352	0	0	0	602	278	0	8	888
6	31.2829	1774.5845	510	326	52	0	0	590	238	50	10	888
7	38.7829	1910.7354	488	322	78	0	0	558	244	72	14	888
8	46.283	2020.4088	474	250	164	0	0	542	176	88	82	888
9	50	2065.1769	470	222	196	0	0	532	162	108	86	888

Estos resultados no concuerdan con la norma ATC-40 (1996), que describe un conjunto de procedimientos para evaluar los edificios existentes en relación con un terremoto de duración máxima prevista (un terremoto con una probabilidad de ocurrencia del 5% en 2500 años) y un terremoto de diseño (un terremoto con una probabilidad de ocurrencia del 10% en 50 años). La norma ATC-40 se elaboró en 1996. Se alcanzó un nivel de rendimiento de colapso y se prevén pérdidas económicas significativas. El código ATC 40 propuesto no cumple el requisito de preservar la seguridad de la vida humana. El ATC-40 exige el refuerzo de las zonas

críticas de pre colapso y colapso. De las tablas se desprende claramente que se alcanzó un nivel de colapso.

Duración del Sismo	Estructura Nueva	Edificio Existente Promedio	Edificio Antiguo
	Diseñadas con norma sismo resistente	Edificios que se planean reforzar	Edificios con Incertidumbre De resistencia
Periodo Corto	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Periodo Largo	Tipo B	Tipo C	Tipo C

**3.3 Determinación del Punto de Desempeño**

El punto de desempeño representa el máximo desplazamiento de la estructura esperado para una determinada demanda sísmica. Su localización es aproximada y puede estar dentro de un intervalo de aceptabilidad del 5% del dpi a cada lado.

Para simplificar el procedimiento de encontrar este punto de intersección ATC-40 propone 3 procedimientos simplificados, de los cuales solo se describirá el primero.

**3.3.1 Procedimiento A**

Se emplea este *procedimiento analítico* porque permite aplicar el concepto del método de espectro capacidad, por su sencillez y posibilidad para ser programado.

14 | Página

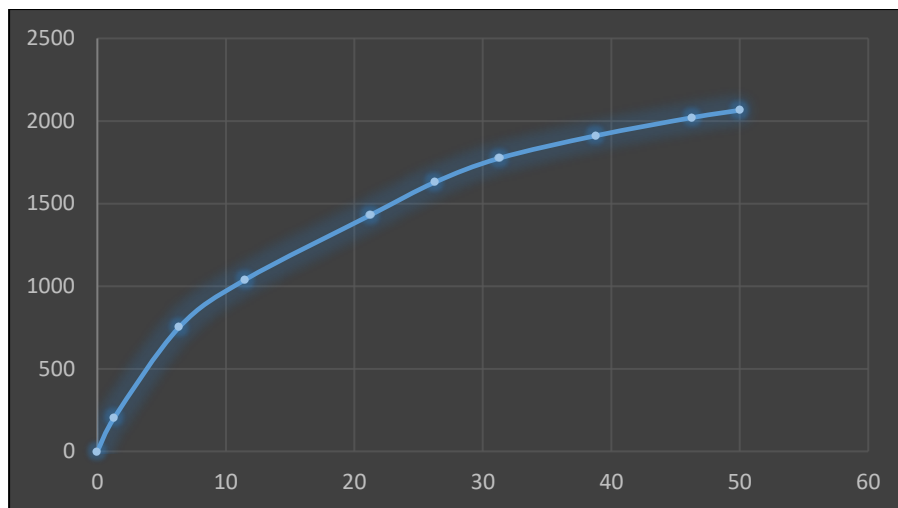
**Figura 46.** Norma ATC-40 para su interpretación en el nivel de desempeño de colapso

**Los resultados del método no lineal Pushover en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima**

**Tabla 7.** Curva de capacidad para los niveles de desempeño sismorresistente

Step	Monitored Displm	Base Force tonf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	888	0	0	0	0	888	0	0	0	888
1	1.3163	204.0771	886	2	0	0	0	888	0	0	0	888
2	6.3596	750.5787	686	202	0	0	0	888	0	0	0	888
3	11.4957	1038.8711	586	302	0	0	0	888	0	0	0	888
4	21.2456	1430.1061	560	328	0	0	0	642	240	0	6	888
5	26.2456	1628.3014	536	352	0	0	0	602	278	0	8	888
6	31.2829	1774.5845	510	326	52	0	0	590	238	50	10	888
7	38.7829	1910.7354	488	322	78	0	0	558	244	72	14	888
8	46.283	2020.4088	474	250	164	0	0	542	176	88	82	888
9	50	2065.1769	470	222	196	0	0	532	162	108	86	888





**Figura 47.** Curva de capacidad niveles de desempeño sismorresistente

La tabla de Excel muestra estos resultados, que deberían indicar que no hay muchas bisagras de plástico en los rangos de pre colapso y colapso. Más bien, revela bisagras tempranas en esas categorías. Esto sugiere que habrá una pérdida económica sustancial en la estructura, que podría deberse a varias cosas, como una distribución deficiente o las características mecánicas de la estructura.

## **CAPÍTULO VI**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Los resultados de la investigación se elaboraron utilizando dos enfoques distintos, dada la naturaleza cuantitativa del estudio: la técnica de observación sobre el terreno, que se llevó a cabo con la ayuda de una guía de observación; y la metodología analítica documental, cuyo instrumento es la ficha de registro de datos. Los resultados se recogieron utilizando ambas técnicas. Se comprobó su precisión y congruencia mediante la estabilidad temporal, ya que se utilizan para instrumentos cuantitativos como inventarios, listas de comprobación y tarjetas de registro. Para asegurarse de que eran precisos y congruentes, se hizo esto. Para asegurarse de que eran precisos y fiables, se hizo esto. El grado de concordancia que puede alcanzarse entre los resultados de dos pruebas distintas realizadas por el mismo evaluador en dos entornos diferentes con la misma muestra de datos se conoce como estabilidad temporal.

#### **Discusión 1**

Los resultados del método Pushover no lineal no son significativos para la institución educativa Santidad Juan Pablo II de Lima en su conjunto. Esta es la respuesta a la pregunta de si los resultados son o no significativos. Esto se debe a que no provienen de bisagras del Paso 0, y no habrá pérdida de valor económico porque caen dentro de los rangos de pre colapso o colapso. Para evaluar el comportamiento sísmico en la dirección x se segmentó la curva de capacidad siguiendo las recomendaciones del comité VISION 2000, de acuerdo con los resultados de Cahuana y Ccaso (2021). También se encontraron los puntos de comportamiento que habían sido identificados anteriormente. El objetivo de este proyecto fue evaluar el comportamiento sísmico. Para los niveles de sismo frecuente e infrecuente, el comportamiento sísmico del edificio es totalmente operativo debido a que no presenta daños; para los niveles

de sismo raro, el edificio se encuentra en seguridad de vida debido a que su primer nivel presenta 20 columnas y dos muros (MX1 y MX2) con daños moderados; y para los niveles de sismo extremadamente raro, la estructura presenta un comportamiento cercano al colapso debido a daños severos en las columnas del primer nivel, daños severos en los muros de los niveles MX1 y MX2, y daños moderados en las vigas. Del mismo modo, la división de la curva de capacidad por parte del comité VISION 2000 permitió analizar el comportamiento sísmico en dirección Y y descubrir lugares de comportamiento previamente determinados. El muro de mampostería confinada MY1 tiene daño moderado en los dos primeros niveles, por lo que cuando ocurre un sismo con frecuencia, el comportamiento sísmico del edificio es totalmente operativo porque no hay daño; cuando ocurre un sismo con poca frecuencia, el edificio está en su nivel de comportamiento operativo; y cuando ocurre un sismo con poca frecuencia, el edificio tiene un nivel de comportamiento de colapso porque el muro MY1 colapsa, causando daño moderado en las columnas del primer nivel y daño ligero en las vigas. Los muros MY1, MY4 y MY5 se derrumbaron durante el terremoto increíblemente infrecuente, lo que finalmente provocó el colapso del edificio.

## **Discusión 2**

Esto sugiere que, dado que el Paso 0 proporciona un máximo de 888 rótulas y está fuera de las áreas de pre colapso y colapso, no habrá pérdidas económicas sustanciales. Esto se refiere a la pregunta de si los hallazgos del método no lineal de Pushover tendrían o no una influencia importante en el desempeño operativo de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de Lima. Según los hallazgos de Carpio (2017), podemos utilizar las curvas que hemos recopilado para encontrar el punto de desempeño en la curva de capacidad sectorizada. Esto nos permitirá medir la efectividad de nuestro marco. Utilizando la curva de capacidad sectorizada, también se muestra el punto de rendimiento del marco del sistema estructural de muros de hormigón armado en ambas direcciones. Esto nos permite determinar si la capacidad de la estructura se sitúa en el rango de rendimiento esperado o en el rango de «Seguridad Vital». Además, demuestra que, como se ve en la Figura N° 49, la estructura separada sísmicamente se encuentra en la categoría de «Ocupación Inmediata». Esto concuerda con la Figura N°15, que se muestra en el desarrollo del marco teórico para esta investigación. La tabla que ilustra los objetivos de rendimiento de la estructura, según el comité SEAOC VISION 2000, puede verse en la Figura N° 15.

### Discusión 3

La respuesta a la pregunta de si los resultados del método Pushover no lineal serían importantes en términos de su grado de desempeño en seguridad de vida fue que, si es sustancial, no produciría pérdidas económicas. Esto en referencia a la institución educativa Santidad Juan Pablo II, ubicada en Lima. Esto se debe a que el Paso 4 produce un máximo de 278 rótulas, que está fuera de los rangos que se consideran de pre colapso y colapso. El mayor desplazamiento de la envolvente del edificio que se proyecta que se produzca en la dirección débil, también conocida como dirección «Y», es de 15,74 milímetros, según lo señalado por Duarte et al. (2017). Tanto la condición que proporciona la posición de la estructura como el espectro de respuesta elástica que forma la NTDS son factores que ilustran esta característica particular. El enfoque del coeficiente de desplazamiento se utiliza para calcular manualmente la demanda sísmica en este escenario, que tiene una probabilidad del 10% de ocurrir en cincuenta años. El cálculo se realiza desde la perspectiva del coeficiente de desplazamiento. Además, ilustra el desplazamiento que sufrió la estructura como consecuencia de una demanda sísmica que tenía un 10% de posibilidades de producirse en cincuenta años (con una duración de retorno de cuatrocientos setenta y cinco años). El desplazamiento admisible para la condición de daño de seguridad vital (LS) debe compararse con este desplazamiento. Este desplazamiento admisible se estimó en el momento de la determinación utilizando el método Sap2000 y los coeficientes de desplazamiento (FEMA 356). Este desplazamiento debe ser objeto de comparación. Además, es de suma importancia tener en cuenta que la curva de capacidad se sitúa en la zona inelástica con respecto al desplazamiento de 24,32 milímetros. Esto indica que si la estructura se descarga en ese momento, mostrará signos de deformación, y la cantidad de daños que sufra sólo será proporcional al nivel de prestaciones de seguridad de vida que posea. En las vigas y pilares del pozo principal, hay algunos puntos que contienen fracturas muy pequeñas con poca capacidad de cedencia. Cuando el hormigón se aplasta, presenta deformaciones inferiores a 0,003 y, en determinados puntos, presenta desconchados, que es la pérdida de una pequeña porción de la capa superficial del hormigón. Además, las juntas pueden ser susceptibles al desarrollo de grietas de flexión y cizallamiento de tamaño inferior a dieciseisavos de pulgada. Debido a que es muy inferior a las limitaciones de seguridad de vida (PDINTD - LS), esto proporciona una holgura adecuada para garantizar la seguridad de las personas que ocupan la estructura. De acuerdo con el objetivo de rendimiento que se estableció para la estructura analizada, los resultados concuerdan con el límite elástico, que se calculó en 15,89 centímetros.

#### **Discusión 4**

Dado que el método Pushover no lineal produce un máximo de 108 rótulas en el Paso 6, está claro que este enfoque dará lugar a pérdidas financieras y no se considera que esté en la seguridad de la vida. Esto plantea la pregunta de si los resultados serían importantes o no en términos del nivel de desempeño previo al colapso de la institución educativa conocida como Santidad Juan Pablo II, que se encuentra en la ciudad de Lima. Las mayores derivas que se obtuvieron en función de los desplazamientos para cada nivel de sismo reportaron que, para la dirección de análisis «x», un sismo muy raro generó un desplazamiento de 6.24 centímetros. Este desplazamiento representa un 0,65% de deriva y está dentro del límite de protección de vida. Esto se descubrió mediante la investigación de las derivas superiores. Al tomar esta decisión, se tomaron en consideración los hallazgos de Huarca (2022), que se derivan de la tesis del presente estudio. Para la dirección «y» de estudio, se obtuvieron las derivas superiores ocurridas en función de los desplazamientos para cada nivel de sismo. Esto se hizo para cada escenario sísmico. Se determinó que el desplazamiento más significativo causado por el nivel sísmico extremadamente excepcional fue de 6,83 centímetros. Esto constituye el 0,71% de la deriva y está dentro de los límites de la norma de protección de la vida.

#### **Discusión 5**

Cabe destacar que el Paso 4 proporciona un máximo de 86 rótulas, en respuesta a la consulta sobre la posible importancia de los resultados del enfoque no lineal Pushover para el nivel de desempeño de colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de Lima. Esto sugiere que va a haber pérdidas financieras y que la construcción no es apta ni segura para la ocupación humana. El edificio presenta algunos deterioros estructurales menores en las vigas laterales de los muros estructurales en todos los niveles, como lo muestran claramente los resultados de la evaluación de Segura en 2021. Además, el grado de deterioro OI en la base de los muros estructurales muestra que puede soportar mayores cargas y desplazamientos laterales. En la actualidad, en cada columna de la segunda planta del edificio objeto de descripción hay pegatinas de plástico que indican el nivel de daño OI para cumplir un requisito sísmico de 0,9g. Esto ejemplifica la aplicación práctica de la noción filosófica de columna fuerte, viga débil. Además, la investigación en dirección X reveló que 18 vigas de la segunda planta presentaban niveles de daño LS. Dos vigas más se derrumbaron mientras se realizaba este examen. Esto lleva al colapso completo del sistema de entreplantas, lo que le impide soportar más carga lateral. Además, la investigación muestra un patrón similar en la dirección Y, que provoca el fallo de las vigas del segundo piso y reduce la capacidad del edificio para

tolerar más cargas laterales. Sin embargo, no se produjo ningún colapso frágil en la construcción, y las vigas del segundo piso sufrieron los daños más importantes. Esto ha permitido restaurar el edificio.

### **Discusión 6**

Con respecto a la posibilidad de que los resultados del método no lineal de Pushover afecten directa y significativamente los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de Lima, tenemos que, si es significativo debido a las múltiples juntas plásticas en los elementos estructurales del nivel de desempeño plenamente operativo, esto podría ser causado por una serie de factores, tales como el concreto de baja calidad de la estructura y sus elementos estructurales mal diseñados. De las curvas y tablas de capacidad se desprende claramente que esto provocará una pérdida financiera significativa a lo largo de períodos de tiempo más prolongados. Determinamos que el desplazamiento de fluencia en el tejado era de 15,89 cm en la dirección del eje Y, que es la dirección de menor fluencia. Esto se basó en los resultados presentados por Duarte et al. (2017). Esta estructura cuenta actualmente con una clasificación de rendimiento de seguridad vital (LS), que significa seguridad vital. Además, la tabla siguiente contiene un resumen de todos los componentes que habían entrado en la zona inelástica en el momento en que se alcanzó el límite elástico. Estos componentes se encontraban en el espacio existente entre las vigas y los pilares.

## CONCLUSIONES

1. Según las conclusiones del estudio, si la aeronave estuviera plenamente operativa, los resultados de rendimiento cumplirían los requisitos de la norma ATC-40. La norma ATC-40 es un conjunto de métodos utilizados para evaluar los edificios existentes frente a dos tipos distintos de seísmos: un seísmo de diseño con un 10% de probabilidades de producirse en cincuenta años y un seísmo máximo previsto que se produce a lo largo de la vida útil de la estructura. No hay ningún consejo para las bisagras porque las tablas muestran que se ha alcanzado un nivel de rendimiento completamente funcional y estructuralmente estable. Esto es coherente con el código ATC 40 propuesto, que garantiza la protección de la vida humana y la evitación de daños económicos.
2. Se ha determinado que los resultados de rendimiento operativo cumplirían la norma ATC-40 (1996). Esta norma es un conjunto de procedimientos para evaluar edificios existentes tanto para un terremoto de diseño (un terremoto con una probabilidad de ocurrencia del 10% en cincuenta años) como para el terremoto máximo esperado durante la vida útil de la estructura (un terremoto con una probabilidad de ocurrencia del 5% en cincuenta años). Las tablas demuestran no sólo que el nivel de rendimiento adquirido es operativo y no causará una pérdida sustancial de dinero, sino también que cumple el código ATC 40 propuesto, preservando la seguridad de la vida.
3. El análisis llega a la conclusión de que los resultados del nivel de seguridad de la vida serían conformes al ATC-40 (1996). Con la ayuda de esta norma, los edificios existentes pueden evaluarse tanto para los terremotos de diseño, que tienen una probabilidad del 10% de producirse en 50 años, como para los terremotos de vida útil máxima prevista, que tienen una probabilidad del 5% de producirse. El ATC-40 solicitará asistencia de refuerzo una vez que alcance las zonas críticas de pre colapso y colapso. Las tablas indican que se ha alcanzado un nivel de rendimiento de seguridad vital y que se prevé una pérdida financiera considerable; sin embargo, esto se ajusta a la sugerencia del código ATC 40, que garantiza la preservación de la vida humana.
4. Es posible deducir de los datos que las lecturas de nivel previas al colapso no podrían haber satisfecho los requisitos de la norma ATC-40 (1996). En el caso de que se produzca un

terremoto de diseño, con una probabilidad del 10% de ocurrir en cincuenta años, y el terremoto máximo previsto durante la vida útil del edificio, esta norma ofrece un conjunto de criterios para evaluar las estructuras existentes. No sólo no cumple con la sugerencia del código ATC-40, sino que también sugiere que no se está salvaguardando adecuadamente la seguridad de la vida humana. Cuando el ATC-40 se encuentre en las zonas críticas previas al colapso y al colapso, solicitará a la fuerza aérea que envíe refuerzos. Los datos hacen sobradamente evidente que se producirán enormes pérdidas financieras y que se ha alcanzado un nivel de desempeño equivalente al de la era anterior al colapso.

5. Se concluye que los resultados del nivel de colapso no cumplirían con la norma ATC-40 (1996). En el caso de un terremoto de diseño (un terremoto con una probabilidad del 10% de ocurrir en 50 años) y un terremoto máximo esperado (un terremoto con una probabilidad del 5% de ocurrir en 2500 años), esta norma establece un conjunto de pautas para evaluar edificios existentes. Los resultados para el nivel de colapso no coinciden con los estándares de la norma. No cumple con el código ATC 40 propuesto, lo que sugiere que la protección de la vida humana es insuficiente. Cuando el ATC-40 se encuentre en las zonas críticas previas al colapso y al colapso, solicitará a la fuerza aérea que envíe refuerzos. Los cuadros dejan bastante claro que se ha alcanzado un nivel de rendimiento ruinoso y que habrá una pérdida importante de recursos económicos.
  
6. Los hallazgos indican que hay un número considerable de bisagras tempranas tanto en el rango previo al colapso como en el de colapso, pero que solo debería haber un número final restringido de bisagras plásticas en ambas regiones. Esto implica que la construcción sufriría importantes pérdidas económicas, que podrían ser consecuencia de varios problemas, entre ellos la calidad mecánica del edificio o una distribución insuficiente. Como resultado, se indica que si es lo suficientemente sustancial como para dar lugar a múltiples bisagras plásticas en los elementos estructurales desde el nivel de rendimiento completamente operativo, puede deberse a una serie de cosas, incluida una distribución desigual de los elementos estructurales y una calidad deficiente. concreto utilizado en la construcción. Por otro lado, si no es lo suficientemente importante como para dar lugar a estas bisagras, algo anda mal con la estructura. Tras un examen más detenido, las curvas y tablas de capacidad muestran que esto, en última instancia, resultará en una pérdida significativa de dinero en el futuro.



## RECOMENDACIONES

- Al establecer el coeficiente de reducción de la fuerza sísmica, se recomienda tener en cuenta el sistema estructural responsable de soportar la mayor fuerza cortante durante todo el proceso de diseño de una estructura comercial o residencial. Existe una correlación entre este coeficiente y la resistencia y ductilidad de la construcción. Para determinar si el coeficiente de reducción seleccionado es adecuado o no, es necesario estimar la curva de capacidad mediante la utilización de un análisis estadístico estático no lineal.
- Para realizar un examen del efecto que tienen las variaciones de rigidez en la reacción global de la estructura de un edificio, es necesario tener en cuenta el comportamiento de varios modelos estructurales diferentes, además de las diferentes distribuciones en planta y altura de los componentes estructurales. Es necesario realizar estudios de comportamiento sísmico en estructuras de edificación de tipo dual que cumplan con la normativa peruana más reciente. Estos estudios deberían investigar cómo reaccionan estas estructuras a diversos grados de peligro sísmico en distintos períodos.
- Con el fin de determinar el punto de desempeño en relación con los niveles de peligro sísmico que se producen mediante el método de coeficientes ASCE 41-17 y el método del espectro de capacidad de Fema, los futuros investigadores de diseño también deben tener en cuenta la interacción entre el suelo y la estructura. a medida que impacta el P-Delta. Es 440. La aplicación del análisis dinámico no lineal, que proporciona modelos más precisos de la reacción estructural a las vibraciones del suelo, debería utilizarse en estudios futuros para investigar el comportamiento sísmico y aprender más sobre los efectos de la actividad sísmica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, D. Evaluación del desempeño sísmico de estructuras de acero que emplean dispositivos de disipación de energía tipo mariposa en diafragmas de sección compuesta. [en línea]. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2020. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83085>

ARROYO, A. Metodología de la investigación en las ciencias empresariales [en línea]. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2020 [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. ISBN: 978-612-4236-24-2. Disponible en: <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/5402>

BAENA, G. Metodología de la investigación [en línea]. Serie integral por competencias, 2017 [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. ISBN: 978-607-744-748-1. Disponible en: [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf)

CAHUANA, M. y CCASO, G. Desempeño sísmico aplicando el análisis estático no lineal (Pushover) del módulo III de la comisaría de Ciudad Nueva, Tacna 2021. [en línea]. Tacna: Universidad Privada de Tacnallejo, 2021. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2027#:~:text=En%20la%20presente%20investigación%20“Desempeño,en%20el%20distrito%20de%20Ciudad>

CALO, B. Desempeño sísmico de edificaciones con marcos arriostrados excéntricamente con enlaces cortos diseñados según la NCH433. [en línea]. Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2018. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168264>

CHAVEZ, A. Análisis estático no lineal de cedencia sucesiva para la evaluación de desempeño sísmo-resistente método Pushover I.E. N°11271, Chiclayo-2021. [en línea]. Chiclayo:

Universidad César Vallejo, 2021. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/71250>

CHUQUIHUANCA, N., FERNÁNDEZ, M., FLORES, K., HURTADO, D., OVIEDO, F. y REYES, L. Didáctica e investigación científica [en línea]. Lima: Universidad César Vallejo, 2021 [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. ISBN: 978-9942-814-77-7. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/91631>

CUMPA, J. y QUISPE, B. Evaluación del desempeño sismorresistente de la Institución Educativa N°50217 de la Comunidad Umachurco – San Salvador, aplicando el método de análisis estático no lineal de cedencia sucesiva (Pushover). [en línea]. Cusco: Universidad Andina del Cusco, 2019. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/2885>

DUARTE, C., MARTINEZ, M. y SANTAMARIA, J. Análisis estático no lineal (Pushover) del cuerpo central del edificio de la facultad de medicina de la Universidad de El Salvador. [en línea]. San Salvador: Universidad de El Salvador, 2017. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/13405/1/Análisis%20estático%20no%20lineal%20%28Pushover%29%20del%20cuerpo%20central%20del%20edificio%20de%20la%20Facultad%20de%20Medicina%20de%20la%20Universidad%20de%20El%20Salvador.pdf>

FERNÁNDEZ, R. Evaluación del desempeño sismorresistente mediante el método no lineal estático pushover del edificio de ingeniería civil de la Universidad Nacional Autónoma Chota, 2018. [en línea]. Chota: Universidad Nacional Autónoma de Chota, 2022. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unach.edu.pe/handle/20.500.14142/239>

GALARZA, D. Evaluación del desempeño sísmico del edificio de la Oscus mediante comparación del análisis estático no lineal (Pushover), análisis estático modal (Pushover multimodal) y dinámico no-lineal (Historia de respuesta). [en línea]. Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2019. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/29942>

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. y MENDOZA, C. Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta, Ciudad de México, 2018. México: Editorial Mc Graw Hill Education, Año de edición: ISBN: 978-1-4562-6096-5, 714 p. 2018.

HUARCA, B. Análisis del desempeño sísmico no lineal estático (Pushover) en la I.E. N°40092” Jose Domingo Zuzunaga, Uchumayo – Arequipa. [en línea]. Lima: Universidad César Vallejo, 2022. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/90018>

JULCA, S. Desempeño sismorresistente de la Institución Educativa N°101136, Nuevo San Juan Alto – Hualgayoc, Región Cajamarca usando CSI Sap 2000. [en línea]. Chiclayo: Universidad César Vallejo, 2020. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/54675>

LARA, N. Introducción al diseño sísmico de una estructura de concreto reforzado basados en método de desempeño. [en línea]. Cartagena: Universidad de Cartagena, 2021. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unicartagena.edu.co/handle/11227/12004>

MARIN, W. Nivel de desempeño sísmico de un edificio multifamiliar mediante el análisis estático no lineal Pushover, Jesús María, 2020. [en línea]. Lima: Universidad César Vallejo, 2020. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60076>

MEJÍA, P. y RIVERA, J. Análisis estático no lineal de una estructura mediante el método de control de desplazamientos. [en línea]. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2020. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/34528>

MENDOZA, C. y RIVERA, C. Evaluación del desempeño sismorresistente de la edificación de aulas generales de la Universidad Andina del Cusco, aplicando el método de análisis estático no lineal (Pushover). [en línea]. Cusco: Universidad Andina del Cusco, 2020. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/3613>

- MIRES, N. Desempeño sismorresistente de la Institución Educativa Técnica Rafael Loayza Guevara utilizando el método Pushover y propuesta de mejora. [en línea]. Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2019. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22304>
- ORTIZ, O. Diseño del sistema sismorresistente de una estructura utilizando pórticos con riostras de pandeo restringido (BRBFs). [en línea]. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2018. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31545>
- PÁRAMO, K. y VILLEGAS, L. Estudio del desempeño sísmico y mejoramiento estructural de las viviendas de emergencia techo en las localidades ciudad Bolívar y Usme de Bogotá D.C. [en línea]. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2021. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/items/1a61fc58-135a-41eb-b1bd-b634d830e157>
- PRÍNCIPE, G. La investigación científica. Teoría y metodología. Fondo Editorial: Universidad Jaime Bausate y Meza. 2018.
- QUEZADA, N. Metodología de la investigación. Editorial Macro. 2015.
- ROSARIO, J. Evaluación del desempeño sismorresistente de edificaciones de albañilería confinada autoconstruidas en el distrito de Chancay – Lima 2019. [en línea]. Lima: Universidad César Vallejo, 2019. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/47217>
- RUIZ, C. y VALENZUELA, M. Metodología de la investigación [en línea]. Huancavelica: Universidad Nacional Autónoma de Tayacaja Daniel Hernández Morillo, 2022 [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. ISBN: 978-612-48962-1-7. Disponible en: <https://fondoeditorial.unat.edu.pe/index.php/EdiUnat/catalog/download/4/5/13?inline=1>

SALCEDO, Y. Desempeño sísmico por el método push-over de un edificio construido en la ciudad de Barranquilla bajo la norma NSR-10. [en línea]. Barranquilla: Universidad de la Costa, 2017. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/248>

SÁNCHEZ, F. Guía de tesis y proyectos de investigación. Centrum Legalis, Arequipa, Perú. 2019.

SEGURA, O. Comparación del desempeño sísmico mediante análisis estático no lineal (Pushover) de dos edificaciones en concreto reforzado situadas en zonas de amenaza sísmica alta con grado de disipación de energía Des, diseñadas bajo los criterios del Ais 114-17 y la norma NSR-10. [en línea]. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2021. [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/39676>

SILVESTRE, I. y HUAMÁN, C. Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria. Editorial San Marcos, Lima, Perú. 2019.

TACILLO, E. Metodología de la investigación científica [en línea]. Lima: Universidad Jaime Bausate y Meza, 2016 [fecha de consulta: 20 de enero de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.bausate.edu.pe/handle/20.500.14229/36>

## **ANEXOS**

## **Operacionalización de variables**



Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<b>Variable Independiente</b> Método no lineal pushover	Este método permite el análisis por el desplazamiento de la estructura ante cargas laterales, las cuales se van incrementando gradualmente hasta formar una rótula (Huarca, 2022).	El procedimiento de análisis estático no lineal cuenta con la curva de capacidad, como la relación entre el corte basal, respecto al desplazamiento lateral del último nivel de la estructura. El análisis tiene como base dos conceptos primordiales: La capacidad y la demanda.	Capacidad	Geometría de los elementos La cantidad de refuerzo Propiedades de los materiales
			Demanda	Depende de un sismo-Fuerzas externas
<b>Variable Dependiente</b> Desempeño sísmico	El desempeño sismorresistente representa la capacidad de una edificación de aceptar diferentes niveles de daños en función de la frecuencia con que se producen y de las consecuencias que tienen (Fernández, 2022).	En cuanto a sus niveles de desempeño, tenemos a los niveles totalmente operacional, operacional, seguridad de vida, pre colapso y colapso.	Totalmente operacional	No ocurren daños
			Operacional	Mínimo daño
			Seguridad de vida	Extensos daños
			Pre colapso	Significante peligro
			Colapso	Elemento falla

## **Matriz de consistencia**

<b>Problema</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variable</b>	<b>Metodología</b>
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable 1:</b>	
¿Cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023?	Determinar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.	Los resultados del método no lineal pushover serían significativos en los niveles de desempeño sismorresistente de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.	Método no lineal pushover  <b>Dimensiones:</b> - Capacidad - Demanda	<b>Método:</b> Científico  <b>Tipo:</b> Aplicada  <b>Nivel:</b> Explicativo  <b>Diseño:</b> Experimental
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	<b>Variable 2:</b>	<b>Población</b>
¿Cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño totalmente operacional de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023?	Analizar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño totalmente operacional de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.	Los resultados del método no lineal pushover serían significativos en el nivel de desempeño totalmente operacional de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.	Desempeño sismorresistente  <b>Dimensiones:</b> - Totalmente operacional - Operacional - Seguridad de vida - Pre colapso - Colapso	La población estuvo constituida por las instituciones educativas localizadas en el distrito de San Juan de Lurigancho de la provincia de Lima, departamento de Lima. La muestra estuvo conformada por la institución educativa su Santidad Juan Pablo II, del distrito de San Juan de Lurigancho de la provincia de Lima, departamento de
¿Cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de seguridad de vida de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023?	Analizar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de seguridad de vida de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.	Los resultados del método no lineal pushover serían significativos en el nivel de desempeño de seguridad de vida de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.		

---

<p>¿Cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de pre colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023?</p>	<p>Analizar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de pre colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.</p>	<p>Los resultados del método no lineal pushover serían significativos en el nivel de desempeño de pre colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.</p>	<p>Lima. Se tuvo un muestreo no probabilístico del tipo intencional.</p>
<p>¿Cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023?</p>	<p>Analizar cuáles serían los resultados del método no lineal pushover en el nivel de desempeño de colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.</p>	<p>Los resultados del método no lineal pushover serían significativos en el nivel de desempeño de colapso de la institución educativa Santidad Juan Pablo II de la ciudad de Lima en el año 2023.</p>	

---