

Estado de la publicación: El preprint no ha sido enviado para publicación

Análisis comparativo del comportamiento sísmico no lineal de una edificación de concreto armado con bases elásticas y el modelo NTP E.030 en Moquegua 2023

Cristhian Bladimir Ramos Quispe

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.13465>

Enviado en: 2025-09-23

Postado en: 2025-09-25 (versión 1)

(AAAA-MM-DD)

Análisis comparativo del comportamiento sísmico no lineal de una edificación de concreto armado con bases elásticas y el modelo de la NTP E.030. en Moquegua 2023

Comparative analysis of the nonlinear seismic behavior of a reinforced concrete building with elastic bases and the NTP E.030 model. in Moquegua 2023

Análise comparativa do comportamento sísmico não linear de um edifício de concreto armado com bases elásticas e o modelo NTP E.030. em Moquegua 2023

AUTOR:

Cristhian Bladimir Ramos Quispe

Afiliación: Universidad Cesar Vallejo

Código Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-3938-8312>

Declaración de contribución del autor

Cristhian Bladimir, Ramos Quispe

:

conceptualización, curación de datos, análisis formal, investigación metodología, administración del proyecto, recursos, Software, validación, Redacción – borrador original, Supervisión, visualización, revisión y edición.

RESUMEN

El presente estudio se centra en un Análisis comparativo del comportamiento sísmico no lineal de una edificación de concreto armado con bases elásticas y el modelo de la NTP E.030. en la ciudad de Moquegua con la intención de comparar los resultados del análisis sísmico no lineal y medir la influencia respecto al modelo de base rígida; para ello se considero como muestra un edificio de 5 niveles de sistema estructural principalmente de pórticos de concreto armado con una cimentación de zapatas combinada asentado en un suelo S2. La metodología utilizada en el presente estudio de tipo aplicada, no experimental y descriptiva. Los estudios comparativos entre la norma técnica peruana NTP E.030 y el análisis con bases elásticas revelan discrepancias significativas en varios aspectos clave del comportamiento sísmico de estructuras de concreto armado. En primer lugar, los periodos de vibración muestran aumentos sustanciales con el uso de bases elásticas, indicando periodos más largos en los tres modos principales de vibración, lo que influye directamente en el comportamiento dinámico y la respuesta sísmica de la edificación. Los desplazamientos estructurales también difieren notablemente, con incrementos significativos en ambas direcciones (X y Y) cuando se aplica el análisis con bases elásticas, destacando incrementos de hasta el 512% en ciertas ubicaciones. Además, las fuerzas cortantes y momentos flectores exhiben variaciones considerables, mostrando tanto incrementos como disminuciones dependiendo de la dirección y la ubicación en la estructura. Por otro lado, el análisis no lineal de edificaciones revela desplazamientos y cargas mucho mayores en comparación con la norma NTP E.030, subrayando la necesidad de metodologías avanzadas para evaluar con precisión el comportamiento estructural frente a cargas sísmicas severas. Estos hallazgos refuerzan la importancia de actualizar las normativas de diseño sísmico para incluir enfoques más sofisticados que puedan optimizar la seguridad estructural y la resiliencia de las edificaciones en zonas sísmicamente activas.

Palabras clave: Análisis, No lineal, Pórtico, Sísmico

ABSTRACT

The present study focuses on a comparative analysis of the nonlinear seismic behavior of a reinforced concrete building with elastic bases and the NTP E.030 model. in the city of Moquegua with the intention of comparing the results of the nonlinear seismic analysis and measuring the influence with respect to the rigid base model; For this, I consider as a sample a 5-level building with a structural system mainly of reinforced concrete frames with a combined footing foundation sitting on an S2 soil. The methodology used in this study is applied, non-experimental and descriptive. Comparative studies between the Peruvian technical standard NTP E.030 and the analysis with elastic bases reveal significant discrepancies in several key aspects of the seismic behavior of reinforced concrete structures. Firstly, the vibration periods show substantial increases with the use of elastic bases, indicating longer periods in the three main vibration modes, which directly influences the dynamic behavior and seismic response of the building. Structural displacements also differ notably, with significant increases in both directions (X and Y) when the analysis with elastic bases is applied, highlighting increases of up to 512% in certain locations. Furthermore, the shear forces and bending moments exhibit considerable variations, showing both increases and decreases depending on the direction and location in the structure. On the other hand, nonlinear analysis of buildings reveals much larger displacements and loads compared to the NTP E.030 standard, underscoring the need for advanced methodologies to accurately evaluate structural behavior against severe seismic loads. These findings reinforce the importance of updating seismic design regulations to include more sophisticated approaches that can optimize the structural safety and resilience of buildings in seismically active areas.

Keywords: Analysis, Nonlinear, Frame, Seismic

RESUMO

O presente estudo centra-se numa análise comparativa do comportamento sísmico não linear de um edifício de betão armado com bases elásticas e o modelo NTP E.030. na cidade de Moquegua com o intuito de comparar os resultados da análise sísmica não linear e medir a influência em relação ao modelo de base rígida; Para isso, considero como amostra um edifício de 5 níveis com um sistema estrutural maioritariamente de pórticos de betão armado com uma fundação combinada assente num solo S2. A metodologia utilizada neste estudo é aplicada, não experimental e descritiva. Estudos comparativos entre a norma técnica peruana NTP E.030 e a análise com bases elásticas revelam discrepâncias significativas em vários aspectos-chave do comportamento sísmico de estruturas de concreto armado. Em primeiro lugar, os períodos de vibração apresentam aumentos substanciais com a utilização de bases elásticas, indicando períodos mais longos nos três principais modos de vibração, o que influencia diretamente no comportamento dinâmico e na resposta sísmica do edifício. Os deslocamentos estruturais também diferem notavelmente, com aumentos significativos em ambas as direções (X e Y) quando aplicada a análise com bases elásticas, destacando aumentos de até 512% em determinados locais. Além disso, as forças cortantes e os momentos flectores apresentam variações consideráveis, apresentando aumentos e diminuições dependendo da direção e localização na estrutura. Por outro lado, a análise não linear de edifícios revela deslocamentos e cargas muito maiores em comparação com a norma NTP E.030, sublinhando a necessidade de metodologias avançadas para avaliar com precisão o comportamento estrutural contra cargas sísmicas severas. Estas descobertas reforçam a importância de atualizar os regulamentos de projeto sísmico para incluir abordagens mais sofisticadas que possam otimizar a segurança estrutural e a resiliência dos edifícios em áreas sísmicamente ativas.

Palavras-chave: Análise, Não Linear, Estrutural, Sísmica

I. INTRODUCCIÓN

El comportamiento sísmico de las edificaciones es un campo de estudio crucial en la ingeniería civil, especialmente en zonas propensas a terremotos como la ciudad de Moquegua. El análisis no lineal permite evaluar la respuesta de las estructuras bajo cargas dinámicas extremas, reflejando de manera más precisa las posibles deformaciones y daños que puedan ocurrir durante un sismo

(Bañuelos-García et al., 2023). A través de este enfoque, se pueden identificar vulnerabilidades estructurales que no serían evidentes en un análisis lineal tradicional, proporcionando así una base más sólida para el diseño y la mejora de edificaciones existentes y nuevas (Bentuk et al., 2023). La comparación entre la aplicación de Análisis no lineal de una edificación con bases elásticas y el cumplimiento con la NTP E.030 permitirá discernir las ventajas y limitaciones de cada método, contribuyendo a una mejor comprensión y optimización del diseño sismo-resistente de edificaciones de concreto armado (Alcívar et al., 2021).

En el ámbito internacional, la ingeniería sísmica enfrenta desafíos significativos para garantizar la seguridad y estabilidad de las edificaciones en regiones propensas a terremotos (Kusumaningrum et al., 2023). De acuerdo con el informe del Global Earthquake Model (GEM), se estima que anualmente ocurren cerca de 20,000 terremotos alrededor del mundo, de los cuales aproximadamente 15 son de magnitudes superiores a 7.0 en la escala de Richter (Tahan Gempa Jembatan Ngarai Sianok di Bukittinggi et al., 2019). Estos eventos sísmicos causan devastación considerable, con daños a la infraestructura y pérdidas humanas y económicas.

En los últimos años, varios estudios han abordado el comportamiento sísmico de edificaciones, centrándose en la necesidad de mejorar las técnicas de diseño y análisis estructural para reducir la vulnerabilidad de las construcciones. Por ejemplo, investigaciones realizadas por el Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) han desarrollado modelos avanzados de análisis no lineal para prever mejor la respuesta de las estructuras ante eventos sísmicos (Suquillo-Ronquillo & Llumiquinga-Suquillo, 2022). Asimismo, estudios en Japón y Nueva Zelanda, dos de los países con mayor actividad sísmica, han implementado bases elásticas en el diseño de edificios para mejorar su desempeño sísmico, mostrando resultados prometedores en la reducción de daños durante terremotos (Saragoni et al., 2022).

Un estudio notable es el realizado por (Goel & Chopra, 1999), quienes investigaron el comportamiento no lineal de estructuras de concreto armado sometidas a cargas sísmicas, demostrando que los análisis no lineales proporcionan una mejor comprensión de las posibles fallas estructurales comparado con los métodos lineales. Además, investigaciones en el contexto europeo, como las realizadas por el Centro Europeo de Investigación Sísmica (EUCENTRE), han evaluado el desempeño de edificaciones históricas y modernas bajo diferentes modelos sísmicos, subrayando la importancia de adaptar las normativas locales a las características sísmicas específicas de cada región (Hall, 2016).

En el Perú, La Norma Técnica Peruana (NTP) E.030 establece los requisitos mínimos para el diseño y construcción de estructuras sismo-resistentes, pero su alcance y aplicación han evidenciado deficiencias que requieren ser abordadas para mejorar la seguridad estructural (Eduardo et al., 2000). La Norma Técnica Peruana (NTP) E.030 y el método de análisis no lineal de edificaciones abordan el diseño y análisis sísmico desde perspectivas distintas; La NTP E.030 proporciona lineamientos para un análisis sísmico que generalmente es lineal y elástico, enfocándose en establecer criterios de diseño que aseguren un comportamiento aceptable de las estructuras bajo cargas sísmicas, basándose en parámetros predefinidos y simplificados (Villegas Peralta, 2021). En contraste, el análisis no lineal evalúa la respuesta real de las edificaciones sometidas a fuerzas sísmicas, considerando la plasticidad de los materiales y las deformaciones más allá del rango elástico, lo que da a pie para una evaluación más precisa de los posibles daños y del comportamiento estructural durante un terremoto (Abd-Elhamed et al., 2023). La principal semejanza entre ambos enfoques es su objetivo de asegurar la resistencia y estabilidad de las edificaciones ante sismos, pero difieren en la complejidad y precisión del análisis, con el método no lineal proporcionando una visión más detallada y realista del comportamiento estructural (Bathe et al., 1989a).

El análisis no lineal de edificaciones es un enfoque avanzado que evalúa la respuesta estructural de edificaciones sometidas a cargas dinámicas extremas, considerando la plasticidad de los materiales y las deformaciones más allá del rango elástico (YAO, 1996). A diferencia del análisis lineal, que asume una relación directa y proporcional entre cargas y desplazamientos, el análisis no lineal tiene en cuenta las no linealidades geométricas y de material, proporcionando una representación más realista del comportamiento estructural durante eventos sísmicos (Rochmah et al., 2021). Este

enfoque permite identificar puntos críticos de falla y evaluar el desempeño global de la estructura bajo condiciones extremas, ofreciendo mejoras significativas en la precisión de las predicciones y en la identificación de vulnerabilidades estructurales (Arita et al., 2021). Además, el análisis no lineal facilita el diseño de soluciones más efectivas y adaptadas a las necesidades específicas de cada edificación, contribuyendo a la optimización de la seguridad y la resiliencia estructural (Gutierrez et al., 2023).

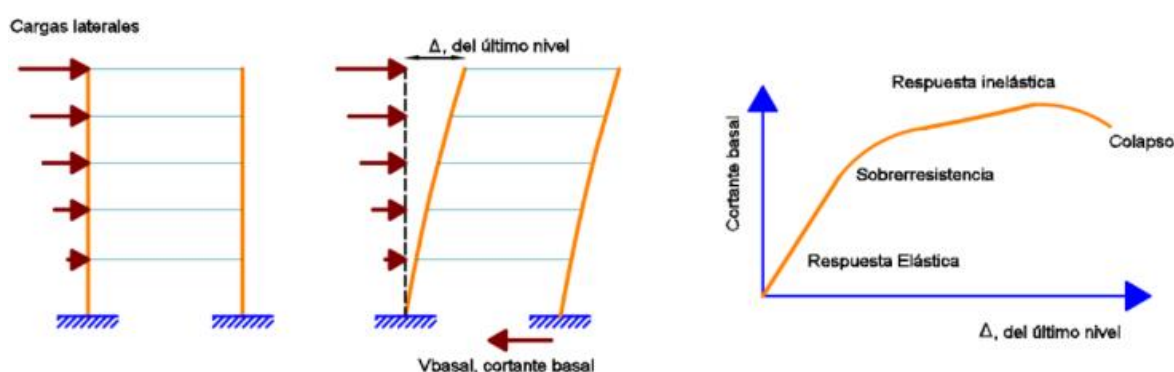
A través de este enfoque, se pueden identificar vulnerabilidades estructurales que no serían evidentes en un análisis lineal tradicional, proporcionando así una base más sólida para el diseño y la mejora de edificaciones existentes y nuevas (Jhordy et al., 2023). La selección de Moquegua como caso de estudio responde a su particular exposición a actividad sísmica, lo cual ofrece un contexto adecuado para evaluar la efectividad de distintos métodos de análisis y diseño estructural. La comparación entre la aplicación de bases elásticas y el cumplimiento con la NTP E.030 permitirá discernir las ventajas y limitaciones de cada método, contribuyendo a una mejor comprensión y optimización del diseño sismo-resistente de edificaciones de concreto armado en esta región.

II. MARCO TEÓRICO

Analisis no lineal

El análisis no lineal representa una metodología avanzada empleada en ingeniería estructural y otras disciplinas científicas. Su propósito es comprender y prever cómo se comportan sistemas y estructuras que no muestran una respuesta proporcional ante las cargas y estímulos aplicados. Este enfoque considera efectos como la plasticidad del material, la formación de grietas, y otros fenómenos complejos que pueden surgir cuando una estructura se somete a cargas extremas. Es crucial para evaluar con precisión la capacidad de las estructuras para resistir condiciones de carga realistas y eventos sísmicos severos, mejorando así la seguridad y el rendimiento de las edificaciones frente a situaciones críticas. A diferencia del análisis lineal, que asume una relación directa y proporcional entre las fuerzas aplicadas y las respuestas del sistema (desplazamientos, tensiones, etc.), el análisis no lineal considera las complejidades y las no linealidades inherentes en los materiales, las geometrías y las condiciones de carga (Bathe et al., 1989b). En el contexto de la ingeniería estructural, el análisis no lineal es crucial para evaluar el desempeño de las edificaciones y otros elementos sometidos a cargas extremas, como terremotos, huracanes o grandes cargas estáticas. Esta técnica es esencial para garantizar la seguridad y funcionalidad de las estructuras en situaciones donde las hipótesis lineales son insuficientes (Echebba et al., 2021).

Figura 1: Modelo teórico para el análisis no lineal (Análisis estático no lineal pushover)



Fuente: ("Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures," 2017)

Interacción suelo estructura

La interacción suelo-estructura es un concepto fundamental en ingeniería sísmica que describe cómo las características del suelo afectan la respuesta sísmica de las estructuras construidas sobre él. Esta interacción es crucial para comprender y predecir el comportamiento de edificaciones y otras

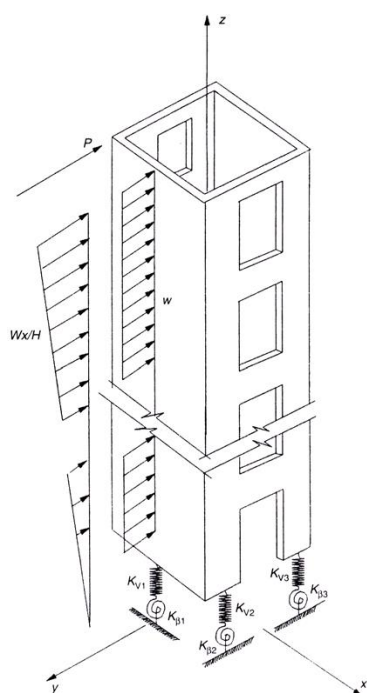
infraestructuras durante eventos sísmicos, ya que el suelo actúa como un medio transmisor y modificador de las ondas sísmicas que impactan en las estructuras (García Vincés et al., 2021).

La respuesta sísmica de una estructura está influenciada por las propiedades dinámicas del suelo sobre el cual está construida. Estas propiedades incluyen la rigidez, la amortiguación, la velocidad de propagación de las ondas sísmicas, entre otros. La interacción suelo-estructura se manifiesta de varias formas, incluyendo:

Amplificación: En suelos blandos y sedimentarios, las ondas sísmicas tienden a amplificarse debido a la baja velocidad de propagación y la alta deformabilidad del suelo. Esto puede resultar en un aumento en la amplitud del movimiento del suelo en comparación con la amplitud de las ondas sísmicas originales (Torres Gomez & Zavala Quispe, 2022).

Atenuación: En suelos rocosos y duros, las ondas sísmicas tienden a atenuarse más rápidamente debido a la alta velocidad de propagación y la baja deformabilidad. Esto puede resultar en una reducción en la amplitud del movimiento del suelo.

Figura 2: Modelo de interacción suelo estructura ISE



III. MATERIALES Y MÉTODOS

El tipo de investigación utilizado en el artículo fue Investigación Aplicada, Este tipo de investigación se distingue por abordar problemas concretos del mundo real, empleando conocimientos teóricos para desarrollar aplicaciones prácticas y funcionales (Hernandez Sampieri 2014, 2014). En este caso la investigación aplicada se centra en analizar y comparar dos enfoques de diseño sísmico (con bases elásticas y según la normativa NTP E.030) para edificaciones de concreto armado en Moquegua. El propósito es crear conocimientos prácticos que puedan ser aplicados directamente en la ingeniería civil, con el fin de fortalecer la seguridad y la capacidad de recuperación de las estructuras frente a eventos sísmicos (De La Cruz, 2016). El enfoque del estudio fue cuantitativo, caracterizado por la recolección y análisis de datos numéricos y objetivos. Este enfoque permitió describir fenómenos, probar hipótesis y establecer patrones o regularidades específicas en el contexto del estudio (Bernal, 2010). Se utilizaron métodos cuantitativos para medir y comparar directamente variables relacionadas con el comportamiento sísmico de las edificaciones de concreto

armado en Moquegua, empleando análisis no lineal con bases elásticas y contrastándolo con el modelo de la normativa NTP E.030.

El diseño de la investigación fue no experimental, un tipo de enfoque científico que se distingue por observar y analizar fenómenos en su estado natural, sin intervenir ni manipular deliberadamente variables o condiciones (Fernández Bedoya, 2020). Para la investigación se aplicó el diseño basado en el estudio de caso; Este diseño de investigación se centra en un análisis profundo y detallado de un caso específicos dentro de un contexto particular. En este modelo, se sustentó en seleccionar edificaciones reales en Moquegua que han sido diseñadas y construidas utilizando bases elásticas y compararlas con edificaciones que siguen el modelo de la normativa NTP E.030. nivel descriptivo, se centra en describir minuciosamente las características, propiedades y comportamientos de un fenómeno, sin intentar establecer relaciones causales o explicar por qué ocurren ciertos fenómenos (Ramos-Galarza, 2015). Su objetivo principal es ofrecer una representación precisa y sistemática de los hechos y variables que están siendo estudiados (Tejada Betancourt, 2023).

Población, está compuesta por todas las edificaciones de concreto armado ubicadas en la ciudad de Moquegua, que han sido diseñadas conforme a los criterios establecidos en la normativa NTP E.030. **Muestra**, está compuesta por una edificación de concreto armado ubicada en Moquegua, seleccionada cuidadosamente para representar tanto diseños con bases elásticas como aquellos conformes a la normativa NTP E.030. En el marco de esta investigación las técnicas e instrumentos fueron, **Inspección Visual y Documental**, Consiste en realizar una evaluación visual detallada de las edificaciones seleccionadas, documentando características estructurales, materiales de construcción, detalles de diseño sísmico y condiciones actuales de las estructuras, **Simulaciones Numéricas y Modelado Computacional**: Utilización de software especializado para realizar simulaciones numéricas del comportamiento sísmico de las edificaciones. Estas simulaciones permitirán predecir y analizar cómo responderán las estructuras bajo diferentes escenarios sísmicos, evaluando aspectos como la capacidad de disipación de energía y la resistencia estructural.

ASPECTOS ÉTICOS

Estos principios éticos son fundamentales para asegurar la integridad y el respeto hacia los participantes y el proceso investigativo:

- **Consentimiento Informado:** Es crucial obtener el consentimiento informado de todos los participantes, explicando claramente los objetivos, procedimientos, riesgos y beneficios del estudio. Es esencial que los participantes comprendan su derecho a retirarse en cualquier momento sin repercusiones.
- **Integridad Científica:** Se debe mantener la honestidad y la precisión en todas las fases de la investigación, desde la recolección y análisis de datos hasta la interpretación y presentación de resultados. Evitar cualquier forma de manipulación de datos o sesgo que pueda distorsionar los hallazgos es fundamental.
- **Revisión Ética:** Obtener la aprobación de un comité de ética de investigación antes de iniciar el estudio es imperativo. Este comité evaluará la propuesta para garantizar que cumpla con los estándares éticos y legales establecidos, protegiendo así los derechos e intereses de los participantes.
- **Transparencia y Divulgación:** Ser transparente en cuanto a los objetivos, métodos y resultados de la investigación es esencial. Cualquier conflicto de intereses debe ser revelado y gestionado adecuadamente para mantener la credibilidad y la confianza pública en los resultados del estudio.
- **Cumplimiento Legal:** Es fundamental asegurarse de que la investigación cumpla con todas las leyes y regulaciones locales e internacionales pertinentes, especialmente aquellas relacionadas con la investigación con seres humanos y la protección de datos personales.

Estos aspectos éticos garantizan que la investigación sea éticamente responsable, contribuyendo de manera positiva al avance del conocimiento científico y beneficiando a la comunidad académica y a la sociedad en general.

modelación sísmica, pasando por la determinación de cargas y las condiciones de frontera. A continuación, se detallan todas las consideraciones para el análisis estructural:

Tabla 1: Propiedades mecánicas del concreto

Propiedades mecánicas del concreto	
Resistencia a la compresión $F'c$:	280 kg/cm ²
Módulo de elasticidad E:	$15000 \times \sqrt{F'c} = 2509980.08$
Módulo de Poisson μ :	0.2
Peso específico γ	2400 kg/m ³
Propiedades mecánicas del Acero	
Resistencia a la fluencia F_y :	4200 kg/cm ²
Módulo de elasticidad E:	2100000 kg/cm ²
Peso específico γ :	7800 kg/m ³

Determinación de Cargas

Tabla 2: Cargas muertas asignadas

Cargas Permanentes (CM)			
Tipo de uso	Carga	Unidad	NTP E.020
Aligerado 20cm de espesor	300	Kg/m ²	
Acabados (piso T)	120	Kg/m ²	
Mampostería	1350	Kg/m ³	

Cargas Variables (LL):

Tabla 3: Cargas vivas asignadas

Cargas Vivas (CV)			
Tipo de uso	Carga	Unidad	NTP E.020
Corredores y escaleras	200	Kg/m ²	
Baños	200	Kg/m ²	
Ambientes en general	200	Kg/m ²	
Azotea	100	Kg/m ²	

Cargas Sísmicas (EQ):

Espectro de Respuesta: Definido por la NTP E.030, basado en la zona sísmica de Moquegua.

Tabla 4: Cargas vivas asignadas

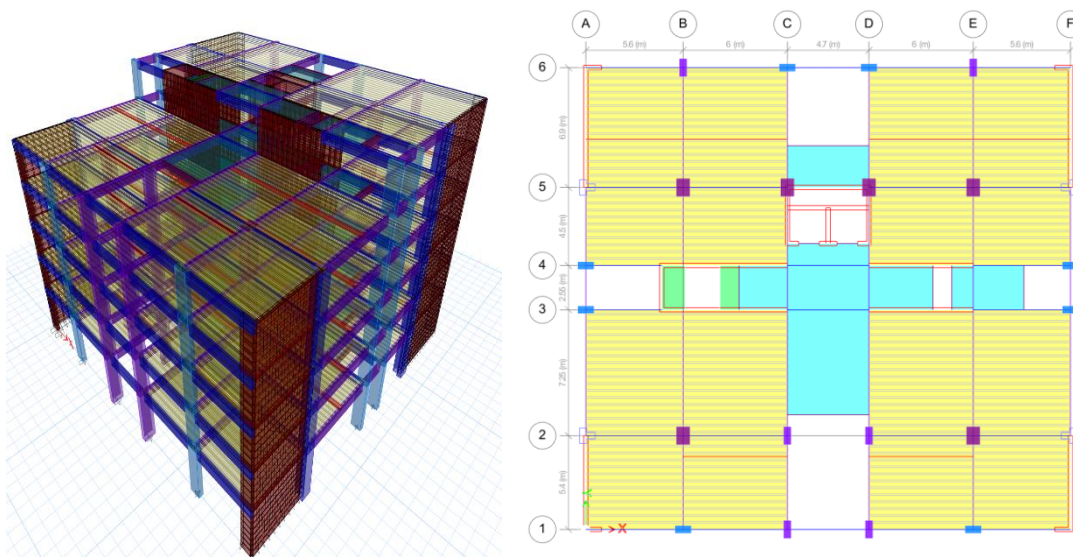
Factores y Coeficientes		
Elemento	Descripción	Factor
Factor Zona	Moquegua Zona 4	0.45
Factor Uso	Vivienda / Comun	1.0
Factor de Amplificación Sísmica	Periodo de vibración	2.5
Factor Suelo	Suelo intermedio	1.05
Coeficiente básico de reducción sísmica " R_0 ":	Sistema estructural	8.0

Criterios para la consideración de Bases elásticas

Tabla 5: Propiedades mecánicas de los suelos

Propiedades mecánicas de suelos	
Plasticidad de los suelos	10.69
Ángulo de Fricción (ϕ):	29.97°
Cohesión (C):	0.0459 kg/cm ²
Capacidad de Carga (qa):	1.341 kg/cm ²
Módulo de Poisson μ :	0.25
Módulo de elasticidad E:	3000 tn/m ²
Peso Específico	1.883 kg/cm ³
Tipo de perfil del suelo:	S2

Figura 4: Modelamiento de la estructura en 3D **Figura 5:** Modelamiento de la estructura en planta piso típico



Análisis no lineal de la edificación considerando bases elásticas

Comenzamos a plasmar los resultados de la investigación sobre el "Análisis no lineal de la edificación considerando bases elásticas". Durante este proceso, analizamos detalladamente cómo la estructura respondió bajo cargas sísmicas simuladas, centrándonos en la evaluación de la respuesta estructural y la efectividad de las bases elásticas para mitigar los efectos de los movimientos sísmicos. Nuestro objetivo fue obtener una comprensión profunda de cómo estas bases afectan el comportamiento estructural en términos de desplazamientos, fuerzas internas y momentos flectores, proporcionando así información crucial para el diseño y la seguridad de la edificación frente a eventos sísmicos.

Consideración de bases elásticas

La interacción suelo-estructura en ETABS se refiere a cómo el software modela y simula la influencia del suelo en el comportamiento de la estructura durante análisis estructurales, especialmente en contextos sísmicos. ETABS permite incorporar esta interacción de varias maneras, algunas de las cuales incluyen:

Modelo de Suelo Elástico: ETABS puede considerar el suelo como un medio elástico que transfiere fuerzas y momentos a la estructura. Esto se logra mediante la definición de propiedades elásticas del suelo, como el módulo de elasticidad y la relación de Poisson, que influyen en cómo la estructura responde a las cargas y movimientos sísmicos.

Rigidez de resortes según Lysmer y Richart

La rigidez de resortes según Lysmer y Richart es un método utilizado en el análisis de interacción suelo-estructura, especialmente en análisis dinámicos y sísmicos. Este método considera el suelo como un resorte de cimientos lineal elástico distribuido. La rigidez de estos resortes se define generalmente mediante parámetros como la rigidez lateral y la rigidez rotacional.

- **Rigidez Lateral (K_x):** Representa la capacidad del suelo para resistir desplazamientos laterales de la estructura. Se define como la fuerza lateral aplicada dividida por el desplazamiento lateral resultante.
- **Rigidez Rotacional (K_y):** Indica la resistencia del suelo a los momentos torsionales inducidos por la estructura. Se calcula como el momento torsor aplicado dividido por el ángulo de rotación resultante.

Estos parámetros de rigidez son esenciales para caracterizar cómo la estructura interacciona con el suelo durante eventos sísmicos. Utilizando estos valores, los ingenieros pueden simular con precisión cómo las fuerzas sísmicas se transmiten y distribuyen a través del sistema suelo-

estructura, lo que facilita un diseño más seguro y eficiente de las cimentaciones y estructuras ante cargas dinámicas significativas.

Figura 6: Factores de Rigidez de resortes según Lysmer y Richart

$$K_z = \frac{4G_s r_z}{(1-\nu)} \quad r_z = \sqrt{\frac{LB}{\pi}}$$

$$K_x = K_y = \frac{32(1-\nu)G_s r_x}{(7-8\nu)} \quad r_x = \sqrt{\frac{LB}{\pi}}$$

$$K_{\theta x} = \frac{8G_s r_{\theta x}^3}{3(1-\nu)} \quad r_{\theta x} = \sqrt[4]{\frac{LB^3}{3\pi}}$$

$$K_{\theta y} = \frac{8G_s r_{\theta y}^3}{3(1-\nu)} \quad r_{\theta y} = \sqrt[4]{\frac{LB^3}{3\pi}}$$

$$K_{\theta z} = \frac{16G_s r_{\theta z}^3}{3} \quad r_{\theta z} = \sqrt[4]{\frac{LB^3 + BL^3}{6\pi}}$$

Tabla 6: Coeficientes de rigidez para las bases elásticas

Coeficiente de rigidez	Valor	Unidad
K_z	27957.70	Tnf/m
$K_x = K_y$	23878.25	Tnf/m
$K_{\theta x} = K_{\theta y}$	15360.95	Tn.m/rad
$K_{\theta z}$	26640.15	Tn.m/rad

Figura 7: Rigidez del suelo en columnas y muros

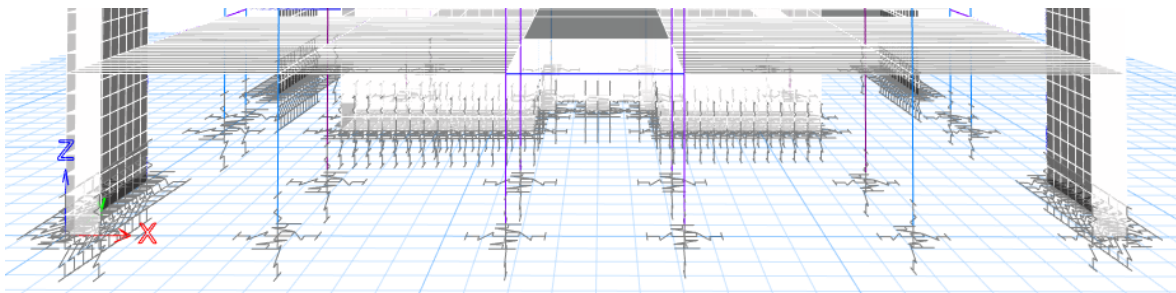
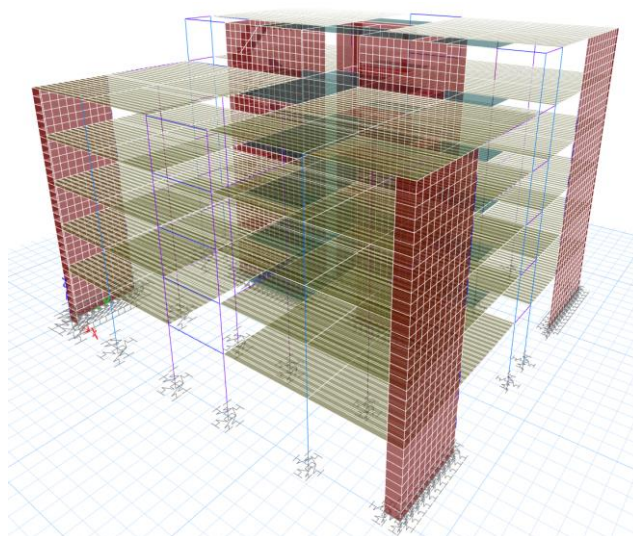


Figura 8: Modelo estructural con Bases elásticas 3D



Punto de Desempeño

Figura 9: Punto de desempeño en la dirección X

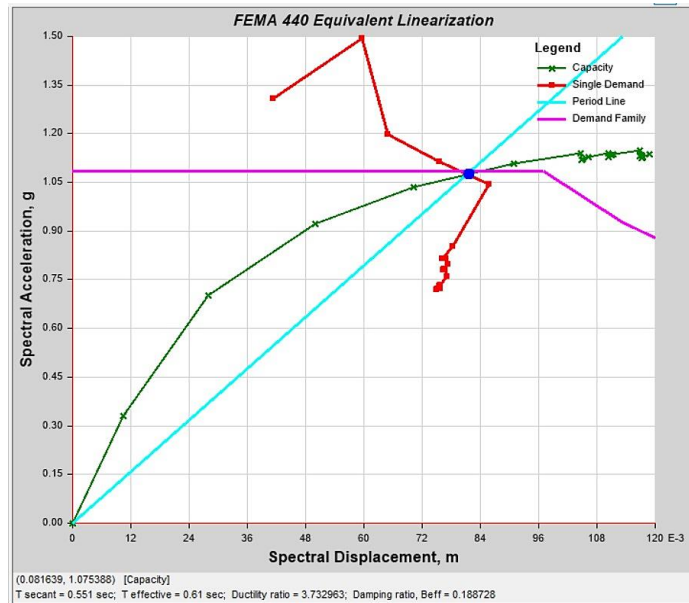
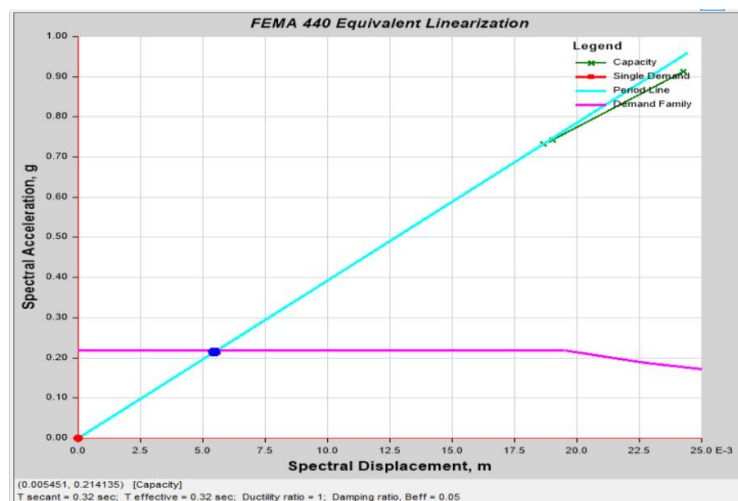


Figura 10: Punto de desempeño en la dirección Y



Resultados del análisis no lineal estático para los desplazamientos y cortantes

Tabla 7: Comparativa análisis según NTP E.030 y Análisis no lineal dirección X

Carga	Elemento	NTP E.030	Análisis no lineal
Push Over X	Desplazamiento (Cm)	0.4186	15.92
	Cortante (tn)	566.2479	1765.23
	Fluencia (Cm)	0.3347	4.569

Para interpretar los resultados comparativos entre el análisis según la NTP E.030 y el análisis no lineal en la dirección X:

Desplazamiento (cm): Según la NTP E.030, el desplazamiento máximo registrado es de 0.4186 cm. En el análisis no lineal, el desplazamiento máximo es considerablemente mayor, alcanzando 15.92 cm. Esto indica que bajo cargas más severas simuladas en el análisis no lineal, la estructura experimenta mayores desplazamientos, lo cual puede ser crítico para evaluar la seguridad y capacidad de la estructura para resistir eventos sísmicos intensos.

Cortante (toneladas): La NTP E.030 registra un valor máximo de cortante de 566.2479 toneladas. En el análisis no lineal, el valor máximo de cortante es mucho mayor, llegando a 1765.23 toneladas. Esto sugiere que, bajo las condiciones simuladas de carga no lineal, la estructura experimenta fuerzas cortantes significativamente más altas, lo cual es crucial para el diseño y la evaluación de la capacidad de los elementos estructurales.

Fluencia (cm): Según la NTP E.030, la fluencia registrada es de 0.3347 cm. En el análisis no lineal, la fluencia es de 4.569 cm. Esto indica que, bajo las condiciones de carga no lineal, los elementos estructurales muestran un comportamiento de deformación plástica más pronunciado, superando los límites elásticos más temprano en comparación con las predicciones de la NTP E.030.

Tabla 8: Comparativa análisis según NTP E.030 y Análisis no lineal dirección Y

Carga	Elemento	NTP E.030	Análisis no lineal
Push Over X	Desplazamiento (Cm)	0.5833	13.25
	Cortante (tn)	534.574	1456.14
	Fluencia (Cm)	0.3347	4.569

Para interpretar los resultados comparativos entre el análisis según la NTP E.030 y el análisis no lineal en la dirección Y:

Desplazamiento (cm): Según la NTP E.030, el desplazamiento máximo registrado es de 0.5833 cm. En el análisis no lineal, el desplazamiento máximo es de 13.25 cm. Esto indica que, bajo cargas más severas simuladas en el análisis no lineal, la estructura experimenta desplazamientos significativamente mayores en comparación con los previstos por la NTP E.030, lo que podría afectar la capacidad de la estructura para resistir eventos sísmicos intensos.

Cortante (toneladas): La NTP E.030 registra un valor máximo de cortante de 534.574 toneladas. En el análisis no lineal, el valor máximo de cortante es de 1456.14 toneladas. Esto indica que, bajo las condiciones simuladas de carga no lineal, la estructura experimenta fuerzas cortantes considerablemente más altas en comparación con las predicciones de la NTP E.030, lo cual es crítico para la evaluación de la resistencia estructural y el diseño sísmico avanzado.

Tabla 9: Comparación de los periodos de vibración NTP E.030 y Análisis no lineal con Bases elásticas

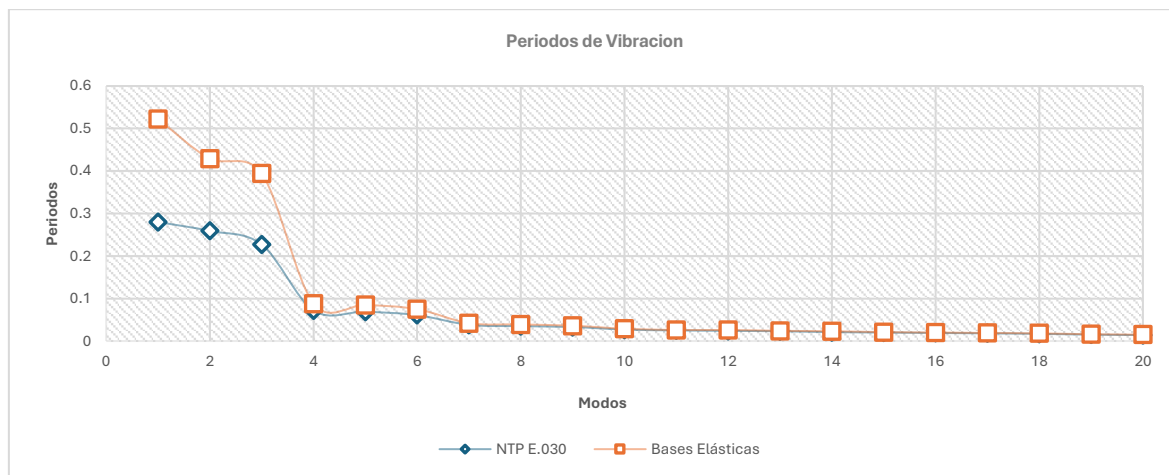
Case	Mode	Period (sec)	Period (sec)	Difference (sec)
		NTP E.030	Bases Elásticas	
Modal	1	0.28	0.522	0.242
Modal	2	0.259	0.429	0.170
Modal	3	0.227	0.394	0.167
Modal	4	0.072	0.088	0.016
Modal	5	0.069	0.085	0.016
Modal	6	0.061	0.075	0.014
Modal	7	0.038	0.042	0.004
Modal	8	0.035	0.039	0.004
Modal	9	0.033	0.036	0.003
Modal	10	0.027	0.029	0.002
Modal	11	0.025	0.026	0.001
Modal	12	0.024	0.026	0.002
Modal	13	0.023	0.024	0.001
Modal	14	0.021	0.023	0.002
Modal	15	0.02	0.021	0.001
Modal	16	0.019	0.02	0.001
Modal	17	0.018	0.019	0.001
Modal	18	0.017	0.018	0.001
Modal	19	0.015	0.016	0.001
Modal	20	0.014	0.015	0.001

Periodos de Vibración: Los periodos de vibración en el modelo considerando bases elásticas son mayores en comparación con los obtenidos según la NTP E.030. Esto se debe a la flexibilidad adicional introducida por las bases elásticas.

Diferencia Significativa en los Modos Principales: En los primeros tres modos, la diferencia en los periodos es notable, con aumentos de 0.242, 0.170 y 0.167 segundos, respectivamente. Estos

modos principales representan los movimientos fundamentales de la estructura, donde la flexibilidad de las bases tiene un mayor impacto.

Figura 11: Comparación de los periodos de vibración NTP E.030 y Análisis no lineal con Bases elásticas



Diferencias Menores en Modos Superiores: A medida que avanzamos hacia los modos superiores, la diferencia en los periodos disminuye. Esto indica que la influencia de las bases elásticas es más significativa en los modos fundamentales que en los superiores, donde los movimientos son más complejos y menos afectados por la flexibilidad de las bases.

Estos resultados resaltan la importancia de considerar la flexibilidad de las bases en el análisis sísmico para obtener una representación más precisa del comportamiento dinámico de la estructura.

Para comparar los desplazamientos de la estructura en la dirección X según la NTP E.030 y considerando bases elásticas se obtuvo la siguiente tabla comparativa

Tabla 10: Comparación de los desplazamientos de la estructura dirección X

Piso	NTP E.030	Bases Elásticas	Diferencia	Porcentaje
AZOTEA	0.004002	0.010593	0.006591	165%
PISO 05	0.004186	0.011194	0.007008	167%
PISO 04	0.003301	0.009232	0.005931	180%
PISO 03	0.00236	0.007145	0.004785	203%
PISO 02	0.001439	0.005002	0.003563	248%
PISO 01	0.000634	0.002871	0.002237	353%
Base	0	0.000288	0.000288	0%

Desplazamientos en la Dirección X: Los desplazamientos en la dirección X aumentan significativamente cuando se consideran bases elásticas en comparación con los valores obtenidos según la NTP E.030. Esto indica que la estructura experimenta mayores movimientos laterales debido a la flexibilidad adicional introducida por las bases elásticas.

Mayor Diferencia en Azotea y Pisos Superiores: Los mayores incrementos en los desplazamientos se observan en la azotea y en los pisos superiores, donde los efectos de las bases elásticas son más pronunciados debido a su influencia directa en la respuesta dinámica de la estructura.

Importancia de Considerar Bases Elásticas: Estos resultados destacan la importancia de considerar la flexibilidad de las bases en el diseño sísmico para evaluar adecuadamente los desplazamientos y garantizar la seguridad estructural durante eventos sísmicos. Esta comparación subraya cómo las bases elásticas pueden alterar significativamente el comportamiento dinámico de la estructura, proporcionando información crucial para el diseño y la evaluación estructural bajo cargas sísmicas.

Tabla 11: Comparación de los desplazamientos de la estructura dirección Y

Piso	NTP E.030	Bases Elásticas	Diferencia	Porcentaje
AZOTEA	0.005833	0.019808	0.013975	240%
PISO 05	0.004824	0.016817	0.011993	249%
PISO 04	0.003736	0.013706	0.00997	267%
PISO 03	0.002625	0.010519	0.007894	301%
PISO 02	0.001574	0.007319	0.005745	365%
PISO 01	0.000686	0.004195	0.003509	512%
Base	0	0.000448	0.000448	0%

La tabla proporciona una comparación de los desplazamientos en la dirección Y entre el análisis según la NTP E.030 y el modelo con bases elásticas, junto con la diferencia absoluta y el porcentaje de cambio:

AZOTEA: El desplazamiento aumenta de 0.005833 m según la NTP E.030 a 0.019808 m con bases elásticas, mostrando una diferencia de 0.013975 m y un incremento del 240%. PISO 05: El desplazamiento aumenta de 0.004824 m según la NTP E.030 a 0.016817 m con bases elásticas, con una diferencia de 0.011993 m y un incremento del 249%. PISO 04: El desplazamiento aumenta de 0.003736 m según la NTP E.030 a 0.013706 m con bases elásticas, con una diferencia de 0.00997 m y un incremento del 267%.

PISO 03: El desplazamiento aumenta de 0.002625 m según la NTP E.030 a 0.010519 m con bases elásticas, con una diferencia de 0.007894 m y un incremento del 301%. PISO 02: El desplazamiento aumenta de 0.001574 m según la NTP E.030 a 0.007319 m con bases elásticas, con una diferencia de 0.005745 m y un incremento del 365%. PISO 01: El desplazamiento aumenta de 0.000686 m según la NTP E.030 a 0.004195 m con bases elásticas, con una diferencia de 0.003509 m y un incremento del 512%.

Estos resultados indican que, al considerar bases elásticas, los desplazamientos en la dirección Y aumentan significativamente en comparación con los valores obtenidos bajo la normativa NTP E.030, mostrando incrementos que van desde el 240% hasta el 512% en diferentes niveles de la estructura.

Tabla 12: Comparación de fuerzas cortantes de la estructura

Piso	Fuerza Cortante X (NTP E.030)	Fuerza Cortante X (Bases Elásticas)	Diferencia	Porcentaje (%)
AZOTEA	72.5395	69.8767	2.6628	3.67
PISO 05	242.3125	239.1587	3.1538	1.30
PISO 04	369.9382	374.4391	-4.5009	-1.22
PISO 03	463.4482	479.0806	-15.6324	-3.37
PISO 02	528.2814	557.222	-28.9406	-5.47
PISO 01	566.2479	611.1484	-44.9005	-7.92
Base	0	0	0	0

La tabla comparativa de fuerzas cortantes en la dirección X (ubicación Bottom) entre el análisis según NTP E.030 y con bases elásticas revela varias observaciones significativas:

Diferencias de Fuerza Cortante: Se observa que en la mayoría de los pisos, las fuerzas cortantes calculadas con bases elásticas son menores que las obtenidas según la NTP E.030. Sin embargo, en el PISO 04, la fuerza cortante con bases elásticas es ligeramente mayor que con la NTP E.030, con una diferencia de -4.5009 tonf.

Porcentaje de Cambio: El porcentaje de cambio muestra cómo varían las fuerzas cortantes respecto al valor más bajo encontrado en cada piso. Por ejemplo, en el PISO 02, la fuerza cortante con bases elásticas es un 5.47% menor que con la NTP E.030, lo que indica una reducción significativa.

Impacto en el Diseño Estructural: Estas diferencias son críticas para el diseño estructural, ya que influirán en las especificaciones de refuerzo y en la capacidad de resistencia de la estructura ante cargas sísmicas. Una menor fuerza cortante puede indicar una redistribución más eficiente de las cargas dentro del edificio, potencialmente afectando la rigidez y la respuesta sísmica global.

Consideraciones de Seguridad: Aunque en algunos casos las fuerzas cortantes son menores con bases elásticas, es esencial evaluar cómo estas diferencias afectan la seguridad y la estabilidad estructural del edificio. Es necesario verificar que las reducciones no comprometan la capacidad de resistencia ante eventos sísmicos esperados.

En resumen, la implementación de bases elásticas en el modelo estructural parece reducir las fuerzas cortantes en la mayoría de los pisos, lo que podría indicar una mejora en la distribución de cargas y posiblemente una optimización del diseño estructural frente a eventos sísmicos.

V. CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos de la tabla comparativa de periodos de vibración entre la norma técnica peruana NTP E.030 y el análisis con bases elásticas, se observa una diferencia significativa en los tres primeros modos de vibración. Para el modo 1, la diferencia entre los periodos es de 0.242 segundos, representando un aumento del 86.4% respecto al valor de la NTP E.030. En el modo 2, la diferencia es de 0.170 segundos, un incremento del 65.6%, mientras que en el modo 3, la diferencia es de 0.167 segundos, lo que equivale a un aumento del 73.6%. Estos resultados indican que la introducción de bases elásticas en el análisis sísmico altera significativamente los periodos de vibración de la estructura. La metodología con bases elásticas muestra periodos más largos en comparación con los calculados según la NTP E.030, lo que tiene implicaciones importantes en el comportamiento dinámico y la respuesta sísmica de la edificación. Este contraste resalta la influencia crucial que tienen las condiciones de apoyo elásticas en la evaluación del comportamiento sísmico de estructuras de concreto armado, mostrando la importancia de considerar metodologías más avanzadas para una evaluación más precisa y segura.
2. Basado en las tablas comparativas de desplazamientos estructurales según la norma técnica peruana NTP E.030 y el análisis con bases elásticas, se observa una notable diferencia en los desplazamientos registrados en ambas metodologías. En la dirección X, los desplazamientos son consistentemente mayores cuando se aplica el análisis con bases elásticas en comparación con la NTP E.030. Por ejemplo, en la azotea, la diferencia de desplazamiento es de 0.006591 metros, lo que representa un aumento del 165% sobre el valor calculado por la NTP E.030. Similarmente, en el piso más bajo, la diferencia es de 0.003509 metros, un incremento del 512%. En cuanto a la dirección Y, se observa una tendencia similar con incrementos significativos en los desplazamientos cuando se utiliza el análisis con bases elásticas. Por ejemplo, en la azotea, la diferencia de desplazamiento es de 0.013975 metros, equivalente a un aumento del 240% respecto a la NTP E.030. En el piso más bajo, la diferencia es de 0.009970 metros, representando un incremento del 267%.
3. Basado en los resultados comparativos de fuerzas cortantes y momentos flectores entre la norma técnica peruana NTP E.030 y el análisis con bases elásticas para una edificación de concreto armado, se observan diferencias significativas que indican el impacto de utilizar bases elásticas en el comportamiento sísmico de la estructura. En la dirección X, los mayores cambios se observan en el piso 01, donde la fuerza cortante disminuye un 7.92% y el momento flector se incrementa en comparación con la NTP E.030. Similarmente, en la dirección Y, se aprecian variaciones notables, especialmente en el piso 01, con diferencias numéricas y porcentuales destacadas en ambas magnitudes analizadas. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar metodologías avanzadas como el análisis con bases elásticas para una evaluación más precisa y detallada del comportamiento estructural bajo cargas sísmicas, proporcionando información crucial para el diseño y la seguridad estructural en zonas sísmicamente activas.
4. Basado en el análisis no lineal de edificaciones realizado, se observa una marcada diferencia entre los resultados obtenidos utilizando la norma técnica peruana NTP E.030 y el enfoque de análisis no lineal. Los desplazamientos obtenidos muestran una discrepancia significativa, donde el análisis no lineal registra valores considerablemente mayores (15.92 cm frente a 0.4186 cm). Asimismo, las fuerzas cortantes también difieren sustancialmente, con 1765.23 toneladas en el análisis no lineal frente a 566.2479 toneladas según la NTP E.030. Estos resultados resaltan la importancia de adoptar metodologías avanzadas como el análisis no lineal para evaluar de manera más precisa y detallada el comportamiento estructural ante cargas extremas como sismos severos.

5. Del análisis no lineal de edificaciones realizado, se observa una notable disparidad entre los resultados obtenidos mediante la norma técnica peruana NTP E.030 y el enfoque de análisis no lineal, especialmente en la dirección Y. Los desplazamientos registrados muestran una diferencia significativa, con 13.25 cm en el análisis no lineal frente a 0.5833 cm según la NTP E.030. Además, las fuerzas cortantes también varían considerablemente, con 1456.14 toneladas en el análisis no lineal y 534.574 toneladas bajo la norma NTP E.030.

VI. CONTRIBUCIÓN DEL AUTOR

1. Es crucial considerar el uso de bases elásticas en el diseño y análisis estructural para mejorar la predicción de los periodos de vibración. Se recomienda incorporar modelos más avanzados que permitan capturar de manera precisa la interacción suelo-estructura, especialmente en edificaciones críticas y en zonas sísmicamente activas. Esto garantizará una evaluación más realista del comportamiento dinámico de las estructuras de concreto armado, proporcionando diseños más seguros y resilientes.
2. La implementación de bases elásticas en el análisis sísmico revela desplazamientos estructurales significativamente mayores en comparación con los calculados por la norma NTP E.030. Se sugiere evaluar detalladamente las condiciones de apoyo de las estructuras durante el diseño para mitigar los efectos de desplazamientos excesivos. Además, se recomienda utilizar análisis avanzados para prever y gestionar de manera efectiva los desplazamientos en edificaciones de múltiples pisos.
3. Con base en las diferencias observadas en las fuerzas cortantes y momentos flectores entre la NTP E.030 y el análisis con bases elásticas, se recomienda integrar metodologías avanzadas de análisis estructural que consideren la respuesta no lineal de los materiales y las condiciones de apoyo. Esto permitirá diseñar estructuras más robustas y adaptativas, capaces de resistir adecuadamente las cargas sísmicas severas y mejorar la seguridad estructural en zonas vulnerables.
4. Para evaluar con precisión el comportamiento estructural bajo cargas extremas como sismos severos, se aconseja adoptar el análisis no lineal como estándar en el diseño y evaluación de edificaciones de concreto armado. Esta metodología proporciona una comprensión más profunda de la respuesta estructural, identificando vulnerabilidades y permitiendo la implementación de estrategias de refuerzo adecuadas para mejorar la resistencia sísmica y la capacidad de disipación de energía de las estructuras.
5. Dado el contraste significativo entre los desplazamientos y fuerzas cortantes obtenidos mediante la NTP E.030 y el análisis no lineal, se recomienda emplear esta última metodología para una evaluación más precisa y detallada del comportamiento estructural. Es esencial actualizar las prácticas de diseño estructural para incluir análisis avanzados que consideren la variabilidad del suelo y las condiciones dinámicas durante eventos sísmicos, asegurando así la resiliencia y seguridad óptima de las estructuras frente a futuros eventos sísmicos.

Estas recomendaciones enfatizan la importancia de adoptar metodologías avanzadas y específicas para cada aspecto del análisis estructural, con el objetivo de mejorar la seguridad y el rendimiento de las edificaciones ante condiciones sísmicas severas.

VII. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe ningún conflicto de intereses.

VIII. DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos que respaldan los hallazgos de este estudio están disponibles a través del autor, previa solicitud razonable.

REFERENCIAS

- Abd-Elhamed, A., Mahmoud, S., & Alotaibi, K. S. (2023). Nonlinear analysis of reinforced concrete buildings with different heights and floor systems. *Scientific Reports 2023 13:1*, 13(1), 1–22. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41656-7>
- Alcívar, S., Mieleles, Y., & Ostaiza, J. P. (2021). Estudio comparativo de análisis y diseño de estructuras aporricadas de hormigón armado, aplicando los espectros de la microzonificación sísmica del cantón Portoviejo y los espectros de la NEC-15. *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 6(1), 26. <https://doi.org/10.33936/RIEMAT.V6I1.3687>
- Arita, L., Lezameta, R., Huaco, G., & Garber, D. (2021). Seismic performance of reinforced concrete tall buildings with conventional and non-conventional construction systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1048(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1048/1/012012>
- Bañuelos-García, F. H., Gustavo, A., Milián, A., & Escamilla García, M. A. (2023). UNA APROXIMACIÓN DE LA CURVA DE CAPACIDAD DINÁMICA Y SU APLICACIÓN A LA EVALUACIÓN SÍSMICA DE ESTRUCTURAS. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 110(110), 1–18. <https://doi.org/10.18867/RIS.110.620>
- Bathe, K. J., Walczak, J., Welch, A., & Mistry, N. (1989a). Nonlinear analysis of concrete structures. *Computers & Structures*, 32(3–4), 563–590. [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(89\)90347-7](https://doi.org/10.1016/0045-7949(89)90347-7)
- Bathe, K. J., Walczak, J., Welch, A., & Mistry, N. (1989b). Nonlinear analysis of concrete structures. *Computers & Structures*, 32(3–4), 563–590. [https://doi.org/10.1016/0045-7949\(89\)90347-7](https://doi.org/10.1016/0045-7949(89)90347-7)
- Bentuk, P. K., Beton, B., Bertingkat, B., Terhadap, T., Seismik, P., Prayuda, H., Maulana, T. I., Mahreza, F., Putra, Y., Salsabila, B., & Saleh, F. (2023). Pengaruh Ketidakberaturan Bentuk Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Tinggi Terhadap Perilaku Seismik. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(2), 2023. <https://doi.org/10.5614/JTS.2023.30.2.17>
- Bernal, C. (2010). Metodología de la investigación. In *Metodología de la investigación*.
- De La Cruz, C. (2016). Metodología de la investigación tecnológica en ingeniería. *Ingenium*, 01(01). <https://doi.org/10.18259/ing.2016007>
- Echegbba, E. M., Boubel, H., Omari, A. El, Rougui, M., Chourak, M., & Chehade, F. H. (2021). Analysis of the Second Order Effect of the SSI on the Building during a Seismic Load. *Infrastructures 2021, Vol. 6, Page 20*, 6(2), 20. <https://doi.org/10.3390/INFRASTRUCTURES6020020>
- Eduardo, J., La Cruz Alvarez, D., Roland, R., Rios, Y., & Rios Asesor, Y. (2000). Gaceta Técnica. *Gaceta Técnica*, 23(1), 48–71. <https://doi.org/10.51372/GACETATECNICA231.5>
- Fernández Bedoya, V. H. (2020). Tipos de justificación en la investigación científica. *Espíritu Emprendedor TES*, 4(3). <https://doi.org/10.33970/eetes.v4.n3.2020.207>
- García Vincés, L. J., Palacios Rodríguez, J., Escobar Molina, A. M., & Zambrano Cevallos, L. D. (2021). “Análisis Estructural y propuesta de reforzamiento del edificio de Facultad de Ciencias Humanísticas de la Universidad Técnica de Manabí.” *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 6(1), 14. <https://doi.org/10.33936/RIEMAT.V6I1.3686>
- Goel, R. K., & Chopra, A. K. (1999). Closure to “Period Formulas for Concrete Shear Wall Buildings” by Rakesh K. Goel and Anil K. Chopra. *Journal of Structural Engineering*, 125(7), 798–798. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(1999\)125:7\(798\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1999)125:7(798))
- Gutierrez, M. G. F., Hormaza, G. J. R., Meza, K. P. E., Zuñiga, J. G. B., Tolentino, E. O. G., Luna, M. I. L., & Morejón, I. Y. P. (2023). The Seismic Vulnerability of Buildings in the Central Zone of Peru through the Application of the Rapid Visual Detection Method. *Civil Engineering and Architecture*, 11(4), 2087–2099. <https://doi.org/10.13189/CEA.2023.110429>
- Hall, J. F. (2016). Discussion of ‘Modelling viscous damping in nonlinear response history analysis of buildings for earthquake excitation’ by Anil K. Chopra and Frank McKenna. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 45(13), 2229–2233. <https://doi.org/10.1002/EQE.2761>
- Hernandez Sampieri 2014. (2014). *metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed. Metodología de La Investigación*, 6(metodología de la investigación).
- Jhordy, E., Uscamayta, M., Pedro Rodríguez Vásquez, M., Medalith, Y., Cusacani, J., Silvana, B., Barrios, V., Sugey, E., Delgado, D. C., Romero Kana, A., Reaño Bayona, Y., Joo García, C. E., Rodríguez, V., Mp, J., Cusacani, Y. M., Barrios Bs, V., Carpio, D., Es, D., Kana, R., ... Estimación, C. E. (2023). Estimation of effective rigidity in reinforced concrete structures through modal identification tests and sclerometry. *Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias*, 2, 442–442. <https://doi.org/10.56294/SCTCONF2023442>

- Kusumaningrum, P., Keahlian, K., Struktur, R., Sipil, T., Lingkungan, D., Nanda, P. T., Teoretis, J., Terapan, D., Rekayasa, B., & Abstrak, S. (2023). Evaluasi Nilai Faktor Performa Struktur Modular Komposit dengan Dinding Internal Pelat Baja Bergelombang. *Jurnal Teknik Sipil*, 30(2), 2023. <https://doi.org/10.5614/JTS.2023.30.2.7>
- Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. (2017). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*, 1–889. <https://doi.org/10.1061/9780784414248>
- Ramos-Galarza, C. (2015). Investigación científica - Scientific research paradigms. *Av.Psicol.*, 23(1).
- Rochmah, N., Beatrix, M., & Sutriyono, B. (2021). EVALUASI LEVEL KINERJA GEDUNG 6 LANTAI DENGAN METODE NON-LINEAR TIME HISTORY ANALYSIS. *EXTRAPOLASI*, 18(1), 33–41. <https://doi.org/10.30996/EXP.V18I1.5214>
- Saragoni, R., Garrido, B., Saragoni, R., & Garrido, B. (2022). Static seismic design coefficients for tailings dam stability studies for Chilean subductive intraplate earthquakes. *Obras y Proyectos*, 31, 16–19. <https://doi.org/10.4067/S0718-28132022000100016>
- Suquillo-Ronquillo, B., & Llumiquinga-Suquillo, M. (2022). Análisis y Comparación de Metodologías de Rehabilitación Sísmica de Estructuras Metálicas. *Investigación y Desarrollo*, 15(1), 90–101. <https://doi.org/10.31243/id.v15.2022.1595>
- Tahan Gempa Jembatan Ngarai Sianok di Bukittinggi, D., Barat -Indonesia NURUL HAKIM, S., Kertapati, E. K., & M, E. V. (2019). Desain Tahan Gempa Jembatan Ngarai Sianok di Bukittinggi, Sumatera Barat - Indonesia. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 5(1), 19. <https://doi.org/10.26760/REKARACANA.V5I1.19>
- Tejada Betancourt, L. (2023). Metodología de la investigación para anteproyectos. *Educación Superior*, 34. <https://doi.org/10.56918/es.2022.i34.pp206>
- Torres Gomez, C. J., & Zavala Quispe, D. J. (2022). Análisis del efecto P-Delta con Push Over en estructuras de mediana altura de concreto armado con presencia de irregularidades en altura en la Costa del Perú. *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/660163>
- Villegas Peralta, C. I. (2021). Efecto P-delta en estructuras de concreto armado de 13 y 20 niveles, Lima - 2021. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/83064>
- YAO, J. T. P. (1996). Dynamics of Structures By: Anil K. Chopra. *Environmental & Engineering Geoscience*, 11(1), 129–130. <https://doi.org/10.2113/GSEEGEOSCI.11.1.129>

Este preprint fue presentado bajo las siguientes condiciones:

- Los autores declaran que se obtuvieron los términos necesarios del consentimiento libre e informado de los participantes o pacientes en la investigación y se describen en el manuscrito, cuando corresponde.
- Los autores declaran que la preparación del manuscrito siguió las normas éticas de comunicación científica.
- Los autores declaran que son conscientes de que son los únicos responsables del contenido del preprint y que el depósito en SciELO Preprints no significa ningún compromiso por parte de SciELO, excepto su preservación y difusión.
- Los autores declaran que los datos, las aplicaciones y otros contenidos subyacentes al manuscrito están referenciados.
- El manuscrito depositado está en formato PDF.
- Los autores declaran que la investigación que dio origen al manuscrito siguió buenas prácticas éticas y que las aprobaciones necesarias de los comités de ética de investigación, cuando corresponda, se describen en el manuscrito.
- Los autores declaran que una vez que un manuscrito es postado en el servidor SciELO Preprints, sólo puede ser retirado mediante solicitud a la Secretaría Editorial deSciELO Preprints, que publicará un aviso de retracción en su lugar.
- Los autores aceptan que el manuscrito aprobado esté disponible bajo licencia [Creative Commons CC-BY](#).
- El autor que presenta el manuscrito declara que las contribuciones de todos los autores y la declaración de conflicto de intereses se incluyen explícitamente y en secciones específicas del manuscrito.
- Los autores declaran que el manuscrito no fue depositado y/o previamente puesto a disposición en otro servidor de preprints o publicado en una revista.
- Si el manuscrito está siendo evaluado o siendo preparando para su publicación pero aún no ha sido publicado por una revista, los autores declaran que han recibido autorización de la revista para hacer este depósito.
- El autor que envía el manuscrito declara que todos los autores del mismo están de acuerdo con el envío a SciELO Preprints.