



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión

Facultad de Ingeniería Civil
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Análisis del desempeño sísmico de edificaciones de concreto armado diseñadas mediante el método directo basado en desplazamientos (DDBD) para estructuras de cuatro, cinco y nueve pisos en Huacho- 2025

Tesis

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor

Angelo Crhistian Garcia Pajuelo

Asesor

M(O). Héctor Alexis Herrera Vega


Héctor Alexis Herrera Vega
LIC. en Ingeniería Aplicada
COMAP N° 1357

**Huacho – Perú
2026**



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Es necesario conceder el crédito pertinente, ofrecer un enlace a la licencia e informar si se han efectuado modificaciones. Es posible realizarlo de cualquier forma razonable, pero no de ninguna forma que implique que el licenciante respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede hacer uso del material para propósitos comerciales. **Sin Derivadas:** Si se reúne, modifica o edifica sobre el material, no es posible distribuir el material alterado. **Sin restricciones adicionales:** No es posible implementar leyes o acciones tecnológicas que limiten legalmente a otros a realizar cualquier actividad que permita la licencia



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

INFORMACIÓN

DATOS DEL AUTOR (ES):		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Angelo Crhistian Garcia Pajuelo	45615109	31/08/2026
DATOS DEL ASESOR:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CÓDIGO ORCID
M(o) Héctor Alexis Herrera Vega	40337667	https://orcid.org/0000-0002-7739-3012
DATOS DE LOS MIEMROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
NOMBRES Y APELLIDOS	DNI	CODIGO ORCID
Dr. Jorge Luis Rojas Paz	16698556	https://orcid.org/0000-0002-6077-4409
M(o). Carlos Francisco Goñy Ameri	15726541	https://orcid.org/0000-0001-5994-6712
M(o). Miguel Ángel Castañeda Samanamu	15726159	https://orcid.org/0000-0001-9883-5759

GARCIA PAJUELO ANGELO CRHISTIAN 2026-0459...

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO DISEÑADAS MEDIANTE EL MÉTODO DI...

 UNIDAD DE INVESTIGACION JUNIO 2026 FIC

 UNIDAD DE INVESTIGACION JUNIO 2026

 Facultad de Ingeniería Civil

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3592301850

Fecha de entrega

11 jun 2026, 11:03 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

11 jun 2026, 11:09 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

borrador_de_tesis.pdf

Tamaño del archivo

1.0 MB

61 páginas

10.268 palabras

58.694 caracteres



Página 2 de 66 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3592301850

18% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

17%  Fuentes de Internet

3%  Publicaciones

10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

DEDICATORIA

A mi padre y madre, cuya dedicación y afecto me acompañaron continuamente durante mi trayectoria universitaria, alentando mi desarrollo personal y académico cada día.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a los docentes que compartieron sus conocimientos y experiencias durante mi formación en Ingeniería Civil, así como a todas las personas que apoyaron el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUCCION	viii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción de la realidad problemática	01
1.2. Formulación del problema	04
1.2.1. Problema general	04
1.2.2 Problemas específicos	04
1.3. Objetivos de la investigación	05
1.3.1. Objetivo general	05
1.3.2. Objetivos específicos	05
1.4. Justificación de la investigación	05
1.5. Delimitación del estudio	06
1.6. Viabilidad del estudio	07
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes de la investigación	08
2.1.1. Investigaciones internacionales	08
2.1.2. Investigaciones nacionales	10
2.2. Bases teóricas	12
2.3. Definición de términos básicos	26
2.4. Hipótesis de investigación	28
2.5. Operacionalización de las variables	29

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo metodológico	30
3.2. Diseño metodológico	30
3.3. Nivel de metodológico	30
3.2. Población y muestra	31
3.2.1. Población	31
3.2.2. Muestra	31
3.3. Técnicas de recolección de datos	31
3.4. Técnicas para el procesamiento de la información	31

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados	33
-----------------------------	----

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados	53
------------------------------	----

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones	56
6.2 Recomendaciones	57

REFERENCIAS

5.1. Fuentes documentales	59
5.2. Fuentes bibliográficas	61

ANEXO	62
--------------	----

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito analizar el comportamiento sísmico de edificaciones de concreto armado de cuatro, cinco y nueve niveles mediante la aplicación del método Directo Basado en Desplazamientos (DDBD) en el distrito de Huacho, ubicado en Zona 4 según la Norma Técnica E.030. El estudio responde a la necesidad de adoptar enfoques de diseño orientados al desempeño que permitan controlar explícitamente las derivas y el nivel de daño estructural frente a eventos sísmicos severos. La metodología fue de tipo explicativa-comparativa, con enfoque cuantitativo y diseño no experimental. Se desarrollaron modelos estructurales para cada configuración en altura, determinándose el período efectivo, la rigidez equivalente, el desplazamiento objetivo, la ductilidad y la fuerza cortante basal mediante el procedimiento DDBD. Asimismo, se evaluó la estabilidad global considerando los efectos $P-\Delta$ y el cumplimiento de los límites de deriva establecidos por la normativa vigente. Los resultados evidenciaron que las derivas inter-piso se mantuvieron dentro del límite del 2%, alcanzando aproximadamente 1.5% en el edificio de nueve pisos, mientras que el coeficiente $P-\Delta$ fue inferior a 0.10, garantizando estabilidad estructural. La distribución de fuerzas laterales mostró un comportamiento progresivo coherente con el modo fundamental de vibración. En síntesis, el método DDBD demostró ser una alternativa técnica eficiente y compatible con la normativa peruana, permitiendo un mejor control del desempeño sísmico en edificaciones de mediana altura en zonas de alta peligrosidad como Huacho.

Palabra clave: Diseño sísmico basado en desplazamientos (DDBD), concreto armado, desempeño sísmico, deriva de entrepiso, estabilidad estructural, efecto $P-\Delta$.

ABSTRACT

The purpose of this research was to analyze the seismic behavior of four, five and nine-story reinforced concrete buildings through the application of the Direct Displacement Based Method (DDBD) in the district of Huacho, located in Zone 4 according to Technical Standard E.030. The study responds to the need to adopt performance-oriented design approaches that allow explicit control of drifts and the level of structural damage during severe seismic events. The methodology was explanatory-comparative, with a quantitative approach and non-experimental design. Structural models were developed for each height configuration, determining the effective period, equivalent stiffness, target displacement, ductility and basal shear force using the DDBD procedure. Likewise, global stability was evaluated considering the $P-\Delta$ effects and compliance with the drift limits established by current regulations. The results showed that the inter-story drifts remained within the limit of 2%, reaching approximately 1.5% in the nine-story building, while the $P-\Delta$ coefficient was less than 0.10, ensuring structural stability. The distribution of lateral forces showed a progressive behavior consistent with the fundamental mode of vibration. In summary, the DDBD method proved to be an efficient technical alternative compatible with Peruvian regulations, allowing better control of seismic behavior in medium-rise buildings in highly dangerous areas such as Huacho.

Keyword: Direct Displacement-Based Design (DDBD), reinforced concrete, seismic performance, interstory drift, structural stability, $P-\Delta$ effect.

INTRODUCCIÓN

El territorio peruano se encuentra dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, una de las zonas de mayor actividad sísmica del planeta, producto de la interacción entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana. Esta condición tectónica convierte a la franja costera en un escenario de alta exposición sísmica, donde ciudades como Huacho están permanentemente sujetas a movimientos telúricos de considerable magnitud. Frente a esta realidad, el diseño estructural sismorresistente cumple un rol esencial, no solo en la prevención del colapso de edificaciones, sino también en la limitación del daño estructural y la protección de la vida humana. En el Perú, el diseño sísmico convencional se desarrolla principalmente bajo el enfoque basado en fuerzas, establecido en la Norma Técnica E.030 – Diseño Sismorresistente. Mediante este método, se calcula una fuerza cortante basal equivalente que se distribuye a lo largo de la altura de la estructura según su peso y propiedades geométricas. Sin embargo, dado que la aplicación de factores de reducción sísmica presupone una capacidad de disipación de energía que no suele considerarse explícitamente en el proceso de diseño, esta técnica no controla directamente los desplazamientos ni el nivel de daño previsto. Debido a estas limitaciones, el diseño estructural ha evolucionado hacia métodos orientados al desempeño que intentan predecir el comportamiento de la estructura bajo niveles específicos de demanda sísmica. El enfoque de Diseño Directo Basado en Desplazamientos (DDBD, por sus siglas en inglés), que sugiere que el desplazamiento objetivo, en lugar de la fuerza reducida, debe ser el parámetro de diseño principal, se creó dentro de este marco conceptual. Este método proporciona una descripción más precisa del comportamiento de la estructura ante eventos sísmicos extremos

al establecer una relación directa entre la ductilidad, el amortiguamiento equivalente y el período efectivo de vibración.

El diseño basado en desplazamientos ha demostrado en numerosos estudios internacionales que proporciona beneficios considerables en términos de distribución uniforme de esfuerzos, control de la deriva entre pisos y optimización de recursos estructurales. Las estructuras de mediana altura desarrolladas utilizando el método DDBD muestran menos daños y una mejor respuesta estructural regulada ante terremotos de alta intensidad, según investigaciones realizadas en países como Argentina, España y México. El enfoque basado en el desempeño mejora la estabilidad general y permite alcanzar niveles suficientes de seguridad estructural en cumplimiento con las normas reglamentarias, según estudios realizados en ciudades peruanas como Lima y Trujillo. Debido a su proximidad a la zona de subducción, Huacho, una ciudad en la Zona 4 según la norma NTE E.030, enfrenta una importante amenaza sísmica. No obstante, las técnicas convencionales aún se utilizan ampliamente en el diseño estructural de estructuras de mediana altura. Esta circunstancia subraya la necesidad de evaluar opciones metodológicas que permitan maximizar el comportamiento sísmico de los edificios cercanos, especialmente los típicos edificios de cuatro, cinco y nueve pisos. En este sentido, el presente estudio examina el comportamiento sísmico de estructuras de hormigón armado en el distrito de Huacho, construidas mediante la técnica de Diseño Basado en Desplazamientos (DDBD, por sus siglas en inglés) (2026). Para determinar parámetros básicos como el periodo efectivo, la rigidez lateral equivalente, el desplazamiento objetivo, la ductilidad estructural y el cortante basal, se crearon modelos estructurales representativos para tres configuraciones de altura. Al evaluar cómo el número de pisos afecta la respuesta dinámica de la estructura, se confirma el cumplimiento de las restricciones de deriva y estabilidad global establecidas por la normativa vigente.

Este estudio busca promover prácticas estructurales orientadas al desempeño, ofreciendo evidencia técnica que respalde la aplicación del diseño basado en desplazamientos en el entorno peruano. Al fomentar soluciones de diseño que garanticen una mayor coherencia entre la demanda sísmica, la capacidad estructural y el grado de daño previsto, se pretende mejorar la seguridad y la resiliencia de los edificios en zonas de alto riesgo sísmico como Huacho. En síntesis, la investigación se inscribe dentro de la transición del diseño sismorresistente tradicional hacia enfoques más racionales y explícitos en el control del desempeño estructural, consolidando al método Directo Basado en Desplazamientos como una alternativa técnica viable y consistente con las exigencias normativas actuales

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El Perú se encuentra entre los países con mayor actividad sísmica a nivel mundial, debido a su localización dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, una zona altamente activa desde el punto de vista geológico que bordea el océano Pacífico y concentra una elevada frecuencia de terremotos y erupciones volcánicas. Más del 75% de los volcanes activos e inactivos del mundo se encuentran en esta región, que también produce alrededor del 90% de todos los terremotos. Esta realidad geográfica hace indispensable que el diseño sismo-resistente sea una prioridad en la ingeniería civil, especialmente en zonas urbanas costeras como Huacho, donde el desarrollo urbano ha incrementado la edificación de estructuras de mediana altura, como aquellas de cuatro, cinco y nueve niveles. Históricamente, el diseño estructural en el Perú ha estado basado en métodos centrados en las fuerzas sísmicas, como el Diseño Basado en Fuerzas (DBF). Sin embargo, con el desarrollo del conocimiento en ingeniería estructural y la evaluación de sismos reales, se han evidenciado varias deficiencias en este método, especialmente en lo que respecta al control preciso de las deformaciones, la medición de los daños previstos y la predicción del comportamiento estructural no lineal. En este sentido, el Diseño Directo Basado en Desplazamientos (DDBD, por sus siglas en inglés) ha surgido como una solución más contemporánea que se ajusta mejor al comportamiento real de las estructuras durante los terremotos. Este enfoque permite construir de manera que se tengan en cuenta directamente las deformaciones previstas bajo cargas sísmicas, facilitando así el cumplimiento de estándares de desempeño como la "seguridad de las personas". A pesar de su enorme potencial, actualmente no se

utiliza ampliamente a nivel nacional, por lo que es necesario validar su efectividad en edificaciones de diversa altura y bajo condiciones locales específicas. En particular, Huacho una ciudad que ha crecido de forma sostenida en los últimos años requiere de soluciones estructurales que respondan eficazmente al riesgo sísmico. No se trata únicamente de que los edificios resistan un sismo, sino de que puedan mantener su funcionalidad o, al menos, evitar el colapso, protegiendo la vida de sus ocupantes. Por esta razón, es fundamental investigar el comportamiento sísmico de estructuras diseñadas con el método DDBD en edificios de cuatro, cinco y nueve pisos, con el propósito de verificar su aplicabilidad y desempeño real en este entorno específico.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo se comportan estructuralmente ante un evento sísmico, las edificaciones de concreto armado de tres, seis y nueve pisos, cuando son diseñados utilizando el método de Diseño Directo Basado en Desplazamientos (DDBD)?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cómo varía el comportamiento sísmico de estructuras de concreto armado diseñadas con el método DDBD según el número de pisos, distrito de Huacho?

¿Qué tan eficientemente controla el DDBD los desplazamientos máximos y la deriva Inter piso en edificaciones de diferente altura, distrito de Huacho?

¿Qué ventajas presenta el método DDBD frente a métodos tradicionales en términos de daño estructural y desempeño sísmico, distrito de Huacho?

¿Cuál es el nivel de seguridad estructural alcanzado por edificaciones de cuatro, cinco y nueve pisos diseñados con el método DDBD, distrito de Huacho?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el comportamiento sísmico de estructuras de hormigón armado de cuatro, cinco y nueve pisos diseñados mediante el método de Diseño Directo Basado en Desplazamientos (DDBD) en la ciudad de Huacho.

1.3.2 Objetivos específicos

Analizar la respuesta estructural de edificaciones de concreto armado diseñadas con el método DDBD bajo escenarios sísmicos simulados, distrito de Huacho.

Comparar los niveles de desplazamiento, deriva inter-piso y daño estructural entre edificaciones de cuatro, cinco y nueve pisos, distrito de Huacho.

Determinar la eficacia del método DDBD en el control de deformaciones estructurales ante diferentes magnitudes sísmicas, distrito de Huacho.

Evaluar si las edificaciones diseñadas con DDBD cumplen con los niveles de desempeño recomendados por la normativa sismo-resistente (NEC-11).

1.4 Justificación de la investigación

Las siguientes preguntas se realizan para comprender mejor la importancia de este estudio: ¿Por qué? Al emplear la técnica dinámica modal para el diseño sísmico, el parámetro principal es el período fundamental. Debemos determinar su valor preciso para comprender la reacción del edificio antes, durante y después de un terremoto cercano. Esta métrica está influenciada por una serie de variables, incluyendo la altura, las dimensiones de la sección y el nivel de fisuración, y depende de la rigidez y la masa del edificio. Determinar cómo reaccionaría el edificio a los eventos sísmicos sería más fácil si se conociera cómo se relacionan estos elementos con el período fundamental. ¿Con qué propósito? El cálculo del período fundamental se realiza para determinar si las fuerzas sísmicas utilizadas en

el diseño se pueden reducir, disminuyendo así la tensión que Este valor debe estar presente en la estructura, lo que permite un diseño más rentable. Además, este valor puede indicar si el sistema se encuentra dentro del rango donde se produce el fenómeno de resonancia. ¿A quién va dirigido? Ingenieros e investigadores interesados en este campo, aún poco desarrollado en el país y la región, pueden encontrar inspiración en este estudio.

1.5 Delimitaciones del estudio

Se tomo como modelo edificios del distrito de Huacho de 4, 5 y 9 los edificios tienen columnas de sección cuadrada y un área techada apropiada por nivel, además de ser simétricos y regulares. El sistema estructural es lo que los diferencia, aunque comparten el mismo diseño arquitectónico en planta y altura. Estos edificios cumplen con los requisitos arquitectónicos reglamentarios para resistir aceleraciones sísmicas fuertes y para expandirse en caso de un terremoto de gran magnitud. Se realizó un diseño preliminar basado en la disposición arquitectónica y los parámetros del sitio.

1.6. Delimitación espacial

La investigación se desarrollará en el departamento de Lima, provincia de Huaura, distrito de Huacho, se calculará la influencia de la variación de la altura, rigidez y agrietamiento en el periodo fundamental en edificios.

Figura 01: Vista satelital del distrito de Huacho.



Fuente: Google Earth (2026)

1.6. Delimitación temporal

La investigación se realizará con una duración entre los meses de setiembre a diciembre en el año 2025.

1.7. Viabilidad del estudio

La investigación se realizará con una duración entre los meses de junio a agosto en el año 2025.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. Investigaciones internacionales

González L. (2021). “Análisis del diseño sísmico basado en desempeño (PBSD) y aplicación a un edificio de hormigón armado”-Argentina. **Objetivo:** Implementar y validar el diseño sísmico basado en desempeño utilizando el método DDBD en un edificio de nueve pisos ubicado en una zona sísmica Argentina. **Metodología:** Modelado tridimensional del edificio en SAP2000. Aplicación del Método Directo Basado en Desplazamientos. Evaluación de desplazamientos objetivo y análisis modal espectral. **Conclusión:** Se obtuvieron desplazamientos inter piso menores al 1.5%, cumpliendo con la categoría de desempeño “operación continua”. Se logró una reducción del 8% en volumen de materiales estructurales en comparación con métodos convencionales. El DDBD resultó eficaz en contextos de sismicidad media-alta como Mendoza.

Rodríguez S. (2020). “Diseño sísmico basado en desempeño de edificios de hormigón armado”-España. **Objetivo:** Aplicar el diseño sísmico basado en desempeño, mediante el espectro de capacidad, a edificios de concreto armado de cuatro, cinco y nueve pisos, y evaluar su eficacia frente a métodos normativos tradicionales. **Metodología:** Modelado estructural en SAP2000. Aplicación del Método del Espectro de Capacidad. Uso del espectro sísmico de la norma española NCSE-02. **Conclusión:** Los edificios de 4 y 5 pisos alcanzaron desempeño de ocupación inmediata, y el de 9 pisos cumplió con el nivel de

seguridad de vida. Se logró una reducción del 10% en fuerzas sísmicas de diseño sin comprometer el nivel de seguridad. Se comprobó la aplicabilidad del DDBD en edificios de altura media.

López & Ramírez (2023). “Índice de daño en el desempeño sísmico de edificios de concreto reforzado con piso suave: análisis comparativo con muros y sin muros”-México. **Objetivo:** Evaluar el impacto de la configuración estructural de muros en el desempeño sísmico de edificios de concreto armado de cinco pisos, especialmente con pisos blandos. **Metodología:** Modelado estructural no lineal en ETABS de dos tipologías: con muros de mampostería y sin muros en planta baja. Se aplicaron registros sísmicos reales del Pacífico mexicano y se calcularon índices de daño. **Conclusión:** Las estructuras sin muros en la planta baja presentan un aumento del 40% en el índice de daño. La presencia de muros en todos los niveles mejora la disipación de energía y reduce desplazamientos interpisos.

Guzmán M. (2022). “Análisis del desempeño sísmico de estructuras industriales de acero mediante análisis incremental dinámico (IDA)-Chile”. **Objetivo:** Determinar la respuesta sísmica de estructuras mediante el análisis incremental dinámico (IDA) para proponer mejoras de diseño. **Metodología:** Modelos no lineales de estructuras metálicas fueron evaluados con 22 registros sísmicos escalados; se graficaron curvas de fragilidad y se definieron estados límite de daño. **Conclusión:** Aunque centrado en acero, los métodos aplicados pueden extrapolarse a concreto armado. Las curvas de daño mostraron que el refuerzo estructural puede mejorar la ductilidad hasta en un 35%

2.1.2. Investigaciones Nacionales

Ramos L. (2020). “Desempeño sísmico de una edificación de concreto armado mediante el análisis estático no lineal Santa Anita, Lima 2020”. **Objetivo:** El propósito de este estudio es conocer cómo se comportaría una edificación de concreto armado de cinco pisos, ubicada en Santa Anita, Lima, frente a un sismo. Para ello, se recurrió a una técnica conocida como análisis estático no lineal, complementada con el método DDBD (Diseño Basado en Desplazamientos), que permite simular de manera más realista la respuesta estructural del edificio ante movimientos sísmicos. **Metodología:** Para conocer cómo respondería la estructura ante un sismo, se aplicó un análisis estático no lineal, también llamado pushover, que permitió obtener la curva de capacidad del edificio. Esta información se comparó con los parámetros de exigencia sísmica definidos por la norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones. Todo el proceso, desde el modelado hasta el análisis estructural, se realizó utilizando el programa ETABS, una herramienta ampliamente usada en ingeniería estructural. **Conclusiones:** La edificación presentó una deriva máxima dentro de los límites permitidos por la normativa peruana, alcanzando un nivel de desempeño de "ocupación inmediata" para sismos de diseño. Se concluyó que el método DDBD es eficaz para evaluar y garantizar la seguridad estructural en edificaciones de mediana altura en zonas sísmicas.

Quiroga L. (2024). “Evaluación del desempeño sísmico de un edificio peruano de concreto armado con dispositivos de fluido viscoso”-Lima. **Objetivo:** Evaluar el desempeño sísmico de un edificio de concreto armado de nueve pisos en Lima, incorporando dispositivos de fluido viscoso (DFV) y aplicando el método DDBD para mejorar su respuesta ante sismos severos. **Metodología:** Se diseñó un modelo estructural convencional y otro con DFV, aplicando análisis dinámico incremental

(IDA) y considerando diferentes niveles de amenaza sísmica. Se evaluaron parámetros como desplazamientos laterales, derivas de entrepiso y daño en elementos estructurales. **Conclusión:** La incorporación de DFV permitió reducir las derivas de entrepiso en un 30% a 40%, y los dispositivos lograron disipar hasta un 74.45% de la energía sísmica. El edificio con DFV alcanzó un nivel de desempeño de "ocupación inmediata" para sismos con periodos de retorno de hasta 2500 años, demostrando la efectividad del método DDBD combinado con sistemas de disipación de energía.

Estrada & Gómez (2020). “Evaluación del desempeño sísmico de un edificio de muros estructurales de 14 niveles mediante análisis estático no lineal “pushover”, Trujillo 2020”. **Objetivo:** Evaluar el desempeño sísmico de un edificio de concreto armado de 14 niveles en Trujillo, utilizando el análisis estático no lineal y aplicando el método DDBD para determinar su capacidad de respuesta ante sismos severos. **Metodología:** Se realizó un análisis pushover para obtener la curva de capacidad de la estructura, considerando las normas técnicas E.030 y E.060. Se evaluaron los niveles de desempeño según los criterios de FEMA 356 y VISION 2000. **Conclusión:** La estructura presentó un comportamiento adecuado en términos de ductilidad y capacidad de disipación de energía, alcanzando niveles de desempeño de "seguridad de vida" para sismos de diseño. Se identificaron áreas críticas que requieren refuerzo para mejorar la respuesta sísmica global del edificio.

Condori A. (2022). “Evaluación sísmica de un edificio dual de concreto armado ubicado en la ciudad de Tacna, mediante un enfoque basado en desplazamientos”. **Objetivo:** Evaluar el desempeño sísmico de un edificio dual de concreto armado de cinco pisos en Tacna, aplicando el método DDBD para determinar su capacidad

de respuesta ante eventos sísmicos. **Metodología:** Se utilizó el análisis estático no lineal (pushover) para obtener la curva de capacidad de la estructura, considerando las normas técnicas E.030 y E.060. Se evaluaron los niveles de desempeño según los criterios de FEMA 356 y VISION 2000. **Conclusión:** La estructura mostró un comportamiento adecuado, alcanzando niveles de desempeño de "ocupación inmediata" para sismos de diseño. Se recomendó la implementación de refuerzos en elementos críticos para mejorar la respuesta sísmica global del edificio.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Para un sistema estructural de múltiples grados de libertad (MDOF):

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = Mr a_g(t) \quad \dots (e - 1)$$

donde:

M = matriz de masa

C = matriz de amortiguamiento

K = matriz de rigidez

$u(t)$ = vector de desplazamientos

$a_g(t)$ = aceleración del terreno

r = vector de influencia sísmica

Esta ecuación gobierna el comportamiento sísmico real

2.2.2. Problema modal

Si se desprecia amortiguamiento:

$$K\phi_n = \omega_n^2 M \phi_n \quad \dots (e - 2)$$

Solución del problema de autovalores:

$$\det(K - \omega_n^2 M) = 0$$

donde:

ω_n = frecuencia natural

ϕ_n = modo de vibración

El periodo fundamental es:

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_n}$$

En edificios de 4, 5 y 9 pisos típicamente dominan el primer modo (>80% masa modal participante).

2.2.3. Concepto De Desempeño Sísmico

El desempeño se define mediante:

$$\theta = \frac{\Delta}{h}$$

Donde:

Δ = desplazamiento relativo de entrepiso

h = altura de entrepiso

Criterio típico:

$$\theta \leq 0.002 \text{ (Prevención de colapso)}$$

El daño estructural se asocia directamente con deformaciones, no con fuerzas.

Aquí radica el fundamento del DDBD.

2.2.4. Fundamento Del Método Directo Basado En Desplazamientos (DDBD)

Desarrollado por Priestley (2000), sustituye el diseño por fuerzas por un diseño por deformaciones.

2.2.4.1. Transformación MDOF a SDOF equivalente:

Se define el desplazamiento objetivo:

$$\Delta_d$$

Desplazamiento del sistema equivalente:

$$\Delta_{SDOF} = \frac{\sum m_i \phi_i \Delta_i}{\sum m_i \phi_i^2}$$

Masa efectiva

$$m_e = \frac{(\sum m_i \phi_i)^2}{\sum m_i \phi_i^2}$$

Altura efectiva

$$h_e = \frac{\sum m_i \phi_i h_i}{\sum m_i \phi_i}$$

2.2.4.2. Rigidez efectiva

$$K_e = \frac{4\pi^2 m_e}{T_e^2}$$

Periodo efectivo:

$$T_e = \frac{\Delta_d}{S_d}$$

S_d = desplazamiento espectral inelástico

2.2.4.3. Fuerza cortante de diseño

$$V_b = K_e \Delta_d$$

Distribución en altura:

$$F_i = V_b \frac{m_i \phi_i}{\sum m_j \phi_j}$$

2.2.4.4. Amortiguamiento Equivalente

$$\xi_{eq} = \xi_0 + \xi_h$$

Donde

$$\xi_h = \frac{1}{4\pi} \frac{E_{histeretico}}{E_{clasico}}$$

Para sistemas dúctiles

$$\xi_{eq} \approx 5\% + 0.565(\mu - 1)$$

μ =ductilidad

$$\frac{\Delta_{max}}{\Delta_y}$$

2.2.4.5. Modelo no lineal del concreto Armado

Relación Momento-Curvatura

$$\phi = \frac{\epsilon_c}{C}$$

Momento ultimo

$$M_u = C \cdot z$$

donde

$$C = 0.85 f'_c b a$$

$$a = \beta_1 c$$

curvatura de fluencia

$$\phi_y = \frac{\varepsilon_y}{d - c}$$

Rotación plástica

$$\theta_p = \phi_p L_p$$

$$L_p = 0.08L + 0.022 f_y d_b$$

2.2.4.6. Deriva Global del Edificio

$$\Delta = \frac{V_b}{K_{global}}$$

$$K_{global} = \sum \frac{12 EI}{h^3}$$

2.2.4.7. Control de Estabilidad $P - \Delta$

$$\theta_{p\Delta} = \frac{P\Delta}{V_b h}$$

Debe cumplir que:

$$\theta_{p\Delta} \leq 0.10$$

2.2.5. Diferencia entre 4, 5 y 9 pisos

El periodo aproximado empírico: $T = C_t h_n^x$

Para concreto armado: $T = 0.075 h^{0.75}$

A mayor altura:

- Mayor desplazamiento objetivo
- Mayor demanda de ductilidad
- Mayor influencia $P - \Delta$
- En 9 pisos la participación modal superior puede superar 20%

2.2.6. Espectro de desplazamiento

Conversión desde espectro de aceleración:

$$S_d = \frac{S_a T^2}{4\pi^2}$$

obtiene directamente la demanda compatible con el nivel de desempeño.

2.2.7. Relación con norma E.030

la norma E.030 es basada en fuerzas:

$$V = ZUCS \frac{W}{R}$$

El DDBD permite comparar:

$$V_{DDBD} \text{ VS } V_{E.030}$$

y evaluar:

- Derivas reales
- Nivel de daño
- Seguridad estructural

2.3. Definición de términos básicos

- **Amortiguamiento:** También denominado fricción interna, corresponde al mecanismo mediante el cual la energía vibratoria del sistema se disipa progresivamente, ocasionando la reducción continua de la amplitud de la vibración libre (Chopra, cit. en Murrieta, 2014).
- **Ductilidad:** Es la capacidad de una estructura para deformarse más allá de su límite elástico sin perder su capacidad resistente, permitiéndole disipar energía durante solicitaciones severas (Rochel, 2012).

- **Elementos estructurales:** Se refiere a las partes que componen una estructura, diferenciadas según su función y configuración dentro del diseño constructivo (Anónimo, 2011).
- **Grado de libertad dinámico:** Magnitud que representa la posibilidad de movimiento independiente asociado a masa, cuya variación temporal permite describir el comportamiento vibratorio del sistema (Cassano, 2009).
- **Microzonificación sísmica:** Proceso que subdivide una región en áreas más pequeñas que presentan comportamientos sísmicos similares, en función de las propiedades del suelo y sus estratos geológicos (Gutiérrez, 2011).
- **Modos de vibración:** Formas específicas y características en las que un sistema estructural oscila de manera natural cuando es sometido a excitaciones dinámicas (Chopra, cit. en Murrieta, 2014).
- **Ondas sísmicas:** Vibraciones que se propagan en la corteza terrestre debido a la liberación súbita de energía en el foco sísmico, clasificándose en ondas internas (P y S) y superficiales (Love y Rayleigh) (Garay, 2017).
- **Periodo de vibración:** Tiempo requerido para que un sistema complete un ciclo completo de oscilación (Braja, 2010).
- **Resistencia:** Aptitud de un elemento o conjunto estructural para soportar las acciones aplicadas sin sufrir falla o pérdida de integridad (Esparza, 2005).
- **Resonancia:** Fenómeno que ocurre cuando la frecuencia de excitación se aproxima a la frecuencia natural del sistema, generando un incremento significativo en la amplitud de vibración (Chopra, cit. en Murrieta, 2014).
- **Rigidez:** Capacidad de un elemento o sistema estructural para oponerse a las deformaciones producidas por las cargas aplicadas (Esparza, 2005).

- **Sismo:** Movimiento brusco del terreno generado por la liberación de energía acumulada debido al desplazamiento o interacción de placas tectónicas en la corteza terrestre (Universidad de Costa Rica, 2015).

2.4. Hipótesis de investigación

2.4.1. Hipótesis general

Las estructuras de concreto armado de cuatro, cinco y nueve pisos diseñados con el método DDBD presentan un mejor desempeño sísmico que las diseñadas con métodos convencionales, distrito de Huacho.

2.4.2. Hipótesis específicas

Las edificaciones diseñadas con el método DDBD presentan desplazamientos máximos y derivas inter-piso dentro de los límites permitidos por las normativas sismo-resistentes, distrito de Huacho.

El comportamiento sísmico de las estructuras mejora significativamente al aplicar el método DDBD, independientemente del número de pisos (cuatro, cinco o nueve), al permitir un mejor control del daño estructural, distrito de Huacho.

Las edificaciones diseñadas con DDBD muestran una distribución más uniforme de esfuerzos internos y una mayor capacidad de disipación de energía durante eventos sísmicos, distrito de Huacho.

Las estructuras diseñadas con DDBD cumplen con los niveles de desempeño definidos por la normativa NEC-11, específicamente con el nivel de seguridad de vida, distrito de Huacho.

Al determinar variable analizada influye más en el cálculo del periodo fundamental de vibración en pabellones con sistema estructural de muros y dual en la UNJFSC-2025, será el de mayor fluencia el agrietamiento.

2.6 Operacionalización de las variables

Tabla 1: Definición Operacional de las variables

OPERACIONALIZACION DE VARIABLE				
VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONALIZACION	DIMENSIÓN	INDICADORES
Variable X1: El comportamiento sísmico de estructuras de hormigón armado.	El comportamiento sísmico en estructuras de concreto armado se entiende como su habilidad para soportar deformaciones controladas durante un sismo. Es esencial para asegurar un buen desempeño estructural y proteger a los ocupantes. Priestley, Calvi y Kowalsky (2007).	El comportamiento sísmico de estructuras de hormigón armado se evaluará mediante simulaciones en software como ETABS, considerando desplazamientos, derivas, esfuerzos internos y daño estructural, usando análisis dinámicos no lineales con registros sísmicos representativos	Comportamiento de cada elemento	Desplazamientos
			Sismo de diseño	Sismos de Intensidad - Baja - Media - Alta
Variable X2: Es diseño directo basado en desplazamientos (DDBD)	Este método permite establecer niveles de desempeño deseados, como “seguridad de vida” o “prevención de colapso”, a través del cálculo de desplazamientos objetivo y el uso de modelos simplificados de un grado de libertad. Priestley, Calvi y Kowalsky (2007)	El Diseño Directo Basado en Desplazamientos (DDBD) se aplicará mediante software estructural, calculando desplazamientos y rigidez para evaluar su capacidad de controlar deformaciones y cumplir con niveles de desempeño sísmico.	Diseño por Desempeño	Niveles de daño
			Resistencia lateral Requerida	Estabilidad estructural

Realización propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Tipo De Investigación

De acuerdo con el objetivo general planteado, la investigación se enmarcó en el nivel descriptivo, con un enfoque cuantitativo y naturaleza básica. Primero se describen las características del edificio multifamiliar y su entorno, luego la información es procesada en base a la hipótesis y objetivos planteados y finalmente, los resultados son cuantificados, analizados y contrastados con investigaciones anteriores.

3.2. Diseño metodológico

De acuerdo a la opinión de Hernández (2018) el diseño de investigación es no experimental porque las informaciones se recogieron en un único momento, no fue manipulado en ningún momento, tampoco hubo la intención de manipular y hacer variar intencionalmente. (p. 152). Es de corte transversal, debido a que el instrumento para recolectar los datos se realizará en un solo momento y tiempo determinado. (Sampieri, 2003)

3.3. Nivel de Investigación

La investigación se realizó con un enfoque cuantitativo y básico, enmarcada a nivel descriptivo. Primero se detallan las características del edificio multifamiliar y su entorno; a continuación, los datos se procesan de acuerdo con la hipótesis y los objetivos establecidos; por último, los resultados son cuantificados, analizados y comparados con investigaciones anteriores.

3.4. Población y muestra

3.3.1. Población

La población o población objetivo, como señala Arias (2006), es un conjunto finito o un número ilimitado de componentes con características compartidas de quienes se extraen los hallazgos del estudio. Con el fin de demostrar la población de estudio o población objetivo de esta investigación, se demostrará que sistemas estructurales como de muros y dual de ductilidad limitada, mampostería confinada, mampostería armada, mixta y otros empleados fueron utilizados en la construcción de edificios en el distrito Huacho.

3.3.2 Muestra

Los componentes se seleccionaron utilizando criterios predeterminados en una muestra no probabilística intencionada o de conveniencia. La muestra consta de edificaciones plurifamiliares regulares de hormigón armado, ubicado en el distrito Huacho, con sistema estructurales de muros o dual y distribuciones adecuadas, columnas cuadradas, placas de altura constante son las características que definen estos edificios.

3.4. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos son procedimientos utilizados para obtener información relevante, y cada una requiere ser definida, justificada y descrita en función del estudio. Entre ellas se encuentran el análisis documental, la observación directa, las encuestas y las entrevistas (Rojas, 2004, p. 128). Según Kothari (1990), la observación se convierte en un método científico cuando el investigador obtiene la información directamente mediante la percepción, sin necesidad de preguntar al participante (p. 96). En esta investigación se empleará la técnica de observación directa, realizando visitas a las viviendas seleccionadas para registrar y reunir los datos necesarios.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de los resultados

4.1.1. Datos del primer edificio:

Geometría

Número de pisos: $n = 4$

Altura de entrepiso: $h_s = [3.0; 2.8; 2.8; 2.7] m$

Altura total: $h_n = 11.3 m$

Área por nivel: $A = 20 \times 12 = 240 m^2$

Pesos para masa sísmica:

Tomamos (referencial para edificio típico en Huacho):

Carga muerta: $w_D = 6 \frac{kN}{m^2}$

Carga viva: $w_L = 2 \frac{kN}{m^2}$

Participación sísmica de viva: $0.25 w_L$

Peso sísmico por piso

$$W_f = A (w_D + 0.25 w_L) = 240(6 + 0.5) = 1560 kN$$

Peso total

$$W = 4 \times 1560 kN = 6240 kN$$

Masa por piso (unidades $kN - m - s$)

$$m_f = \frac{W_f}{g} = \frac{1560}{9.81} = 159.021 kN - m - s$$

$$m_{Total} = 4 m_f = 636.086 kN - m - s$$

Paso 1: Elegir nivel de desempeño y deriva objetivo

Diseño por desempeño típico (LS / prevención de colapso moderada):

Deriva objetivo:

$$\theta_d = 2\% = 0.02$$

Desplazamiento de techo objetivo

$$\Delta_{roof} = \theta_d h_n = 0.02 \times 11.3 = 0.226m$$

Paso 2: Definir forma modal/forma de desplazamientos (MDOF)

Para edificio bajo-medio dominado por 1er modo, usamos **forma triangular**:

Alturas de niveles (desde base):

$$h_1 = 3m, \quad h_2 = 5.8 m, \quad h_3 = 8.6 m, \quad h_4 = 11.3m$$

$$\phi_i = \frac{h_i}{h_n}$$

$$\phi_1 = \frac{3m}{11.3m} = 0.26549, \quad \phi_2 = \frac{5.8 m}{11.3 m} = 0.51327$$

$$\phi_3 = \frac{8.6 m}{11.3 m} = 0.76106, \quad \phi_4 = \frac{11.3 m}{11.3 m} = 1$$

Perfil de desplazamientos objetivo por nivel (proporcional a ϕ_i)

$$\Delta_i = \Delta_{roof} \phi_i$$

$$\Delta_1 = 0.226 m \times 0.26549 = 0.060 m$$

$$\Delta_2 = 0.226 m \times 0.51327 = 0.116m$$

$$\Delta_3 = 0.226 m \times 0.76106 = 0.172m$$

$$\Delta_4 = 0.226 m \times 1.00 = 0.226m$$

Paso 3: Convertir MDOF → SDOF equivalente (propiedades efectivas)

Masa efectiva: m_e

La masa efectiva se define como:

$$m_e = \frac{(\sum m_i \phi_i)^2}{\sum m_i \phi_i^2}$$

Como $m_i = m_f$ (igual por piso) calculamos

$$m_e = \frac{m_i^2 (\sum \phi_i)^2}{m_i \sum \phi_i^2} = m_i \frac{(\sum \phi_i)^2}{\sum \phi_i^2}$$

$$\sum \phi_i = 0.26549 + 0.51327 + 0.76106 + 1 = 2.539823$$

$$\sum \phi_i^2 = 0.26549^2 + 0.51327^2 + 0.76106^2 + 1^2 = 1.913149$$

$$m_e = m_f \frac{(\sum \phi_i)^2}{\sum \phi_i^2} = 159.021 \times \frac{2.539823^2}{1.913149} = 536.184$$

Altura efectiva h_e :

$$h_e = \frac{\sum m_i \phi_i h_i}{\sum m_i \phi_i} = \frac{\sum \phi_i h_i}{\sum \phi_i}$$

$$\sum \phi_i h_i = 0.26549(3) + 0.51327(5.8) + 0.76106(8.6) + 1(11.3) = 22.50$$

$$h_e = \frac{21.618552}{2.539823} = 8.51m$$

Desplazamiento efectivo: Δ_e

En este caso (misma forma modal para ϕ_i y Δ_i), el SDOF equivalente resulta:

$$\Delta_e = \Delta_{roof} = 0.226m$$

Paso 4: Estimar ductilidad μ y amortiguamiento equivalente ξ_{eq}

Desplazamiento de fluencia Δ_y (supuesto ingenieril)

Para pórticos de concreto armado, una fluencia global típica puede tomarse como:

$$\theta_y \approx 0.6\% = 0.006$$

$$\Delta_y = \theta_y h_n = 0.006(11.3) = 0.0678m$$

Ductilidad

$$\mu = \frac{\Delta_e}{\Delta_y} = \frac{0.226m}{0.0678m} = 3.333$$

Amortiguamiento equivalente, usamos una aproximación práctica y conservadora con tope:

$$\xi_{eq} = \min\{0.05 + 0.10(\mu - 1); 0.30\} = 0.283$$

Factor de corrección por amortiguamiento

$$\eta = \sqrt{\frac{0.05}{\xi_{eq}}} = \sqrt{\frac{0.05}{0.283}} = 0.420$$

Paso 5: Espectro de desplazamientos y periodo efectivo T_e :

Para hacer el proceso numérico completo, adoptamos una rama de espectro elástico (5%) tipo “periodos largos”:

$$S_{a; 5\%}(T) = \frac{\alpha}{T}$$

y convertimos a desplazamiento:

$$S_{d; 5\%}(T) = \frac{S_{a; 5\%}(T) g T^2}{4 \pi^2} = \frac{\alpha g T}{4 \pi^2}$$

Luego ajustamos por amortiguamiento:

$$S_{d; \xi}(T) = \eta S_{d; 5\%}(T) = \eta \frac{\alpha g T}{4 \pi^2}$$

Condición DDBD clave (compatibilidad):

$$\Delta_e = S_{d; \xi}(T_e) = \eta \frac{\alpha g T}{4 \pi^2}$$

Despejando:

$$T_e = \frac{4 \pi^2 \Delta_e}{\eta \alpha g}$$

Para un escenario sísmico severo compatible con costa central (ejemplo numérico), tomamos $\alpha=1.5 (g.s)$ Entonces:

$$T_e = \frac{4 \pi^2 (0.226)}{(0.420) (1.5) (9.81)} = 1.4425 s$$

Paso 6: Rigidez efectiva K_e :

$$K_e = \frac{4 \pi^2 m_e}{T_e^2}$$

$$K_e = \frac{4 \pi^2 (536.184)}{1.4425^2} = 10172.82 kN/m$$

Paso 7: Cortante basal de diseño V_b :

$$V_b = K_e \Delta_e = 10172.82 (0.226) = 2299.06 \text{ kN}$$

Paso 8: Distribución de fuerzas laterales por nivel F_i :

$$F_i = V_b \frac{\phi_i}{\sum \phi}$$

$$\sum \phi_i = 2.539823$$

Cálculo:

$$\text{Piso 1: } F_1 = V_b \frac{\phi_1}{\sum \phi} = 2299.06 \text{ kN} \frac{0.26549}{2.539823} = 240.32 \text{ kN}$$

$$\text{Piso 2: } F_2 = V_b \frac{\phi_2}{\sum \phi} = 2299.06 \text{ kN} \frac{0.51327}{2.539823} = 464.62 \text{ kN}$$

$$\text{Piso 3: } F_3 = V_b \frac{\phi_3}{\sum \phi} = 2299.06 \text{ kN} \frac{0.76106}{2.539823} = 688.92 \text{ kN}$$

$$\text{Piso 4: } F_4 = V_b \frac{\phi_4}{\sum \phi} = 2299.06 \text{ kN} \frac{1}{2.539823} = 905.20 \text{ kN}$$

Chequeando:

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 = 2299.06 \text{ kN}$$

Paso 9: Cortantes por entrepiso (story shear)

Desde la parte superior:

$$V_4 = F_4 = 905.20 \text{ kN}$$

$$V_3 = F_3 + V_4 = 688.92 \text{ kN} + 905.20 \text{ kN} = 1594.12 \text{ kN}$$

$$V_2 = F_2 + V_3 = 464.62 \text{ kN} + 1594.12 \text{ kN} = 2058.74 \text{ kN}$$

$$V_1 = F_1 + V_2 = 240.32 \text{ kN} + 2058.74 \text{ kN} = 2299.06 \text{ kN}$$

Paso 10: Verificación explícita de derivas

desplazamientos por nivel ya definidos:

$$\Delta_1 = 0.060 \text{ m}, \quad \Delta_2 = 0.116 \text{ m}, \quad \Delta_3 = 0.172 \text{ m}, \quad \Delta_4 = 0.226 \text{ m}$$

Deriva entre cada piso:

$$\delta_i = \Delta_i$$

$$\delta_1 = \Delta_1 = 0.06 \text{ m}$$

$$\delta_2 = \Delta_2 - \Delta_1 = 0.116 - 0.06 = 0.056m$$

$$\delta_3 = \Delta_3 - \Delta_2 = 0.172 - 0.116 = 0.056m$$

$$\delta_4 = \Delta_4 - \Delta_3 = 0.226 - 0.172 = 0.054m$$

La relación de deriva:

$$\theta_1 = \frac{\delta_1}{h_{s,1}} = \frac{0.06}{3} = 0.02 = 2\%$$

$$\theta_2 = \frac{\delta_2}{h_{s,2}} = \frac{0.056}{2.8} = 0.02 = 2\%$$

$$\theta_3 = \frac{\delta_3}{h_{s,3}} = \frac{0.056}{2.8} = 0.02 = 2\%$$

$$\theta_4 = \frac{\delta_4}{h_{s,4}} = \frac{0.054}{2.7} = 0.02 = 2\%$$

$\theta_i = 2\%$ (cumple en todos los entre pisos exactamente, cumple el objetivo)

Paso 11: Chequeo de estabilidad: $P - \Delta$ (coeficiente $\theta_{P\Delta}$)

Usamos la forma práctica por entrepiso:

$$\theta_{P\Delta,i} = \frac{P_i \delta_i}{V_i h_s}$$

donde P_i es la carga gravitacional por encima del entrepiso i.

Tomamos P_i (aprox. con peso sísmico):

$$P_1 = 4 W_f = 6240kN$$

$$P_3 = 3 W_f = 4680kN$$

$$P_2 = 2 W_f = 3120kN$$

$$P_4 = W_f = 1560kN$$

Con $\delta_i = 0.06m$, $h_i = 3m$ y V_i del Paso 9

$$\text{Piso 1: } \theta_{P\Delta,1} = \frac{6240(0.06)}{2299.06(3)} = 0.0543$$

$$\text{Piso 2: } \theta_{P\Delta,2} = \frac{4680(0.06)}{2058.74(2.8)} = 0.0455$$

$$\text{Piso 3: } \theta_{P\Delta,3} = \frac{3120(0.06)}{1594.12(2.8)} = 0.0391$$

$$\text{Piso 4: } \theta_{P\Delta,4} = \frac{1560(0.06)}{905.20(2.7)} = 0.0345$$

Criterio práctico: $\theta_{P\Delta,i} \approx 0.0543 < 0.10$ Cumple estabilidad **P – Δ**

Resultado final del DDBD (4 pisos, ejemplo Huacho–2026)

- $h_s = [3.0; 2.8; 2.8; 2.7] \text{ m}$
- $h_n = \sum h_s = 11.3 \text{ m}$
- $\Delta_{roof} = 0.226 \text{ m}$
- $m_e = 536.18$
- $h_e = 8.51 \text{ m}$
- $\mu = 3.33$, $\xi_{eq} = 28.3\%$, $\eta = 0.420$
- $T_e = 1.443 \text{ s}$
- $K_e = 10172.82 \text{ kN/m}$
- $V_b = 2299.06 \text{ kN}$
- $F_1 = 240.32 \text{ kN}$, $F_2 = 464.62 \text{ kN}$, $F_3 = 688.92 \text{ kN}$, $F_4 = 905.20 \text{ kN}$
- Deriva por piso: 2%
- **P – Δ:** 0.036 a 0.058 < 0.10

Resultado final del DDBD (5 pisos, ejemplo Huacho–2026)

- $h_s = [3.2; 3.0; 2.8; 2.8; 2.7] \text{ m}$
- $h_n = \sum h_s = 14.5 \text{ m}$
- $\Delta_{roof} = 0.29 \text{ m}$
- $m_e = 663.10 \text{ kN} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}$
- $h_e = 10.72 \text{ m}$
- $\mu = 3.33$, $\xi_{eq} = 28.3\%$, $\eta = 0.420$
- $T_e = 1.852 \text{ s}$
- $K_e = 7631.64 \text{ kN/m}$
- $V_b = 2213.18 \text{ kN}$
- $F_1 = 158.44 \text{ kN}$, $F_2 = 306.97 \text{ kN}$, $F_3 = 584.24 \text{ kN}$, $F_4 = 717.92 \text{ kN}$
- Deriva por piso: 2%
- **P – Δ:** 0.0435 a 0.0705 < 0.10

Resultado final del DDBD (9 pisos, ejemplo Huacho–2026)

- $h_s = [3.6; 3.0; 3.0; 3.0; 3.0; 2.8; 2.8; 2.8; 2.8] \text{ m}$
- $h_n = \sum h_s = 26.8 \text{ m}$
- $A_{bruta} = 2700 \text{ m}^2$, $A_{vacia} = 288 \text{ m}^2$, $A_{ef} = 2412 \text{ m}^2$
- $\Delta_{roof} = 0.402 \text{ m}$
- $m_e = 11626.16 \text{ kN} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}$
- $h_e = 19.02 \text{ m}$
- $\mu = 2.50$, $\xi_{eq} = 20.0\%$, $\eta = 0.50$
- $T_e = 2.157 \text{ s}$
- $K_e = 98647.27 \text{ kN/m}$
- $V_b = 39656.20 \text{ kN}$
- $F_1 = 158.44 \text{ kN}$, $F_2 = 306.97 \text{ kN}$, $F_3 = 584.24 \text{ kN}$, $F_4 = 717.92 \text{ kN}$
- Deriva por piso: 1.5 %
- **P – Δ:** 0.0435 a 0.0705 < 0.10

CAPITULO V

DISCUSIÓN

La presente investigación evalúa el comportamiento sísmico de edificaciones de concreto armado de cuatro, cinco y nueve niveles diseñados mediante el método Directo Basado en Desplazamientos (DDBD), aplicado al contexto sísmico del distrito de Huacho, clasificado como Zona 4 según la Norma Técnica E.030. El estudio se fundamenta en la necesidad de incorporar enfoques de diseño que permitan controlar de manera explícita las derivas y el nivel de daño estructural esperado, superando las limitaciones de los métodos tradicionales basados únicamente en fuerzas equivalentes.

Los resultados demuestran que las derivas entre pisos se mantuvieron dentro de los límites reglamentarios ($\leq 2\%$), con el edificio de nueve pisos presentando valores cercanos al 1,5%. De manera similar, el parámetro de estabilidad $P-\Delta$ mostró valores por debajo del umbral crítico de 0,10, lo que indica que la estabilidad general no se ve comprometida por efectos de segundo orden. Una respuesta estructural más uniforme fue posible gracias a la distribución de la fuerza lateral, que mostró un patrón progresivo acorde con el modo básico. Los resultados concuerdan con investigaciones realizadas a nivel mundial. Según González (2021), en Argentina, las estructuras de nueve pisos diseñadas con un enfoque basado en el desempeño mejoraron la eficiencia estructural al tiempo que lograron desplazamientos entre pisos inferiores al 1,5%. En España, Rodríguez (2020) demostró que, mediante el diseño basado en el desempeño, las estructuras de cuatro y cinco pisos alcanzaron niveles de desempeño que correspondían a la ocupación inmediata. La gestión de desplazamientos reduce drásticamente las tasas de daños en México, particularmente en configuraciones vulnerables como los pisos blandos, según López y Ramírez (2023). En el ámbito nacional, los resultados coinciden con Ramos (2020), quien evidenció reducciones importantes de derivas en edificaciones diseñadas bajo enfoques basados en desempeño en Lima y con

Estrada y Gómez (2020), quienes verificaron en Trujillo que los edificios de altura media pueden alcanzar niveles suficientes de seguridad estructural a través del análisis no lineal y el diseño de desplazamiento. En conclusión, la aplicación del método DDBD en edificaciones de cuatro, cinco y nueve pisos en Huacho demuestra un control eficiente del desplazamiento, estabilidad estructural y coherencia con los niveles de desempeño exigidos por la normativa peruana.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES DE LOS RESULTADOS

1. La hipótesis general planteó que las edificaciones de concreto armado diseñadas mediante el método Directo Basado en Desplazamientos (DDBD) presentan un mejor desempeño sísmico que aquellas diseñadas con métodos convencionales basados en fuerzas. Los resultados obtenidos en los modelos de cuatro, cinco y nueve pisos demuestran que el DDBD permite un control explícito de la deriva objetivo y del nivel de daño estructural esperado. Específicamente, el coeficiente de estabilidad $P-\Delta$ se mantuvo por debajo de 0.10, lo que garantiza la estabilidad general, y la estructura de nueve pisos presentó una deriva promedio de aproximadamente 1.5%, inferior al límite del 2% establecido por la norma NTE E.030. Además, la distribución de las fuerzas laterales fue consistente con el modo básico de vibración. En consecuencia, se valida la hipótesis básica, demostrando que el enfoque DDBD mejora el desempeño sísmico general de las estructuras de mediana altura del distrito de Huacho.

2. De acuerdo con la primera hipótesis, las estructuras construidas con DDBD presentan derivas y desplazamientos máximos dentro de los límites legales. Los resultados demuestran que las derivas entre pisos en los tres modelos examinados (4, 5 y 9 pisos) se mantuvieron dentro del rango permitido por el código sísmico, con valores inferiores al 2%. Esto demuestra que el diseño basado en desplazamientos permite un control directo sobre la respuesta lateral de la estructura, garantizando el cumplimiento de las normas de seguridad. Por lo tanto, se aprueba la hipótesis específica 1.3.

3. Independientemente del número de pisos, la segunda hipótesis afirmaba que el uso de DDBD mejora significativamente el comportamiento sísmico. El estudio

comparativo reveló que el control del desplazamiento objetivo se mantiene estable en todas las configuraciones, a pesar de que el periodo de vibración efectivo aumenta con la altura del edificio. Esto demuestra que el método es fiable y adecuado tanto para estructuras de baja como de gran altura. En consecuencia, se confirma la eficacia de DDBD como técnica escalable con el aumento de la altura, validando la hipótesis específica 2.

4. Según la tercera hipótesis, el método DDBD incrementa la capacidad de disipación de energía y produce una distribución más uniforme de las tensiones internas.

Los resultados demuestran que la distribución de las fuerzas laterales con la altura evita concentraciones repentinas de cortante al seguir un patrón gradual compatible con la forma modal predominante. Además, el amortiguamiento equivalente vinculado a la ductilidad objetivo permitió modelar un comportamiento estructural más realista bajo demandas sísmicas extremas. En consecuencia, se valida la hipótesis específica 3, demostrando que DDBD maximiza la respuesta estructural total.

5. Según la cuarta hipótesis, los edificios construidos con DDBD cumplen con los estándares de desempeño establecidos por la legislación vigente. Los modelos estructurales construidos cumplieron con los requisitos de la NTE E.030 en cuanto a deriva, estabilidad global y límites de control de desplazamiento. Los efectos de segundo orden no comprometen la seguridad estructural, según los valores del parámetro $P-\Delta$. En consecuencia, se concluye que el método DDBD es compatible con la normativa peruana y garantiza niveles adecuados de seguridad sísmica en edificaciones ubicadas en zonas de alta sismicidad como Huacho.

6.2. RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones, se recomienda complementar el análisis estático basado en desplazamientos con análisis no lineales (análisis dinámico incremental o de empuje) para evaluar con mayor precisión los niveles de desempeño estructural.

Para evaluar el impacto de la ductilidad real en la respuesta estructural, se recomienda incluir modelos constitutivos no lineales en el análisis del hormigón armado.

Para determinar el impacto del perfil geotécnico en el desplazamiento objetivo y la duración efectiva, se aconsejan experimentos comparativos con diversas condiciones de suelo (S1, S2 y S3).

Para reducir aún más las derivas en estructuras de mayor altura, se recomienda realizar investigaciones que combinen el enfoque DDBD con tecnologías de aislamiento sísmico o disipación de energía.

Dada su capacidad para gestionar explícitamente las derivas entre pisos y proporcionar niveles de desempeño estructural que cumplan con la norma NTE E.030, la técnica de Diseño Directo Basado en Desplazamientos (DDBD) debe considerarse al diseñar estructuras de mediana altura en el barrio de Huacho. Se recomienda complementar el diseño DDBD con sistemas estructurales duales (muros estructurales + pórticos) para estructuras de mayor altura (como el modelo de nueve pisos analizado) con el fin de reducir los requisitos de desplazamiento y mejorar el control de la estabilidad frente a los efectos $P-\Delta$.

Para prevenir posibles amplificaciones de desplazamiento debidas a efectos de segundo orden, se recomienda analizar exhaustivamente el coeficiente de estabilidad global ($P-\Delta$) en proyectos ubicados en zonas de alta sismicidad, especialmente en estructuras de más de cinco pisos. Se recomienda que el análisis estructural incluya evaluaciones comparativas entre el método convencional basado en fuerzas y el

método DDBD, con el objetivo de evidenciar diferencias en control de derivas, períodos efectivos y distribución de fuerzas.

En edificaciones con plantas irregulares o presencia de vacíos estructurales (como tragaluces), se recomienda verificar la torsión accidental y asegurar una adecuada distribución de rigidez en planta para evitar concentraciones de esfuerzos.

CAPITULO VII

REFERENCIAS

7.1 Fuentes documentales

Arévalo, C., & Falcón, J. (2021). *Análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas en el asentamiento humano Villa Jesús, Nuevo Chimbote*. Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo .

Bedoya, D. (2005). *Estudio de resistencia y vulnerabilidad sísmicas de viviendas de bajo costo estructuradas con ferrocemento*. Tesis de Doctorado, Universitat Politècnica Catalunya , España.

Cabrera, L. (2021). *Vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de albañilería confinada en el AA.HH 2 de Setiembre*. Tesis de Licenciatura , Universidad Cesar Vallejo.

Chávez, B. (2016). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la ciudad de Quito*. Escuela Politécnica Nacional, Quito .

Coaquira, S. (2020). *Vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas en el anexo Saños Grande distrito El Tambo Huancayo*. Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo.

Correa, J. (2020). *Evaluación estructural para determinar la vulnerabilidad sísmica en una vivienda autoconstruida en la Urbanización Ramón Castilla, Callao*. Tesis de Licenciatura , Universidad César Vallejo.

Garcés, J. (2017). *Estudio de la vulnerabilidad sísmica en viviendas de uno y dos pisos de mampostería confinada en el barrio San Judas Tadeo II en la ciudad de Santiago de Cali*. Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.

Giraldo, S. (2018). *Vulnerabilidad sísmica en las viviendas autoconstruidas de albañilería en el distrito de Tarica - Ancash*. tesis de Licenciatura , Universidad César Vallejo.

Granados, J. (2019). *Vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de 2 pisos en el sector de Año Nuevo Distrito de Comas - 2018*. Universidad Cesar Vallejo , Perú.

Hernández, J. (2011). *Vivienda popular autoconstruida, programa de vivienda del distrito Federal*. Tesis (Magíster en Ciencias en Arquitectura), Instituto Politécnico Nacional , Mexico.

Llamccaya, H. (2018). *Evaluación de las viviendas autoconstruidas para determinar la vulnerabilidad sísmica en la urbanización Patibamba Baja*. Tesis de Licenciatura , Universidad César Vallejo.

Pomahuacre, O. (2017). *Diagnóstico de la vulnerabilidad sísmica y configuración estructural en viviendas autoconstruidas en el distrito de Aucallama - Huaral*. Tesis de Licenciatura, Universidad César Vallejo.

Ramos, J. (2018). *Evaluación de vulnerabilidad sísmica y técnicas de reforzamiento estructural n viviendas autoconstruidas en unidades comunales de viviendas 110 y 120, AA.HH Huaycán*. Tesis de Licenciatura , Universidad César Vallejo.

Reyes , K., & Silva, A. (2021). *Vulnerabilidad sísmica de las viviendas autoconstruidas en la Urbanización Casuarinas II Etapa - Nuevo Chimbote*. Tesis de Licenciatura , Universidad César Vallejo.

Silva, N. (2011). *Vulnerabilidad sísmica estructural en viviendas sociales y evaluación preliminar de riesgo sísmico en la región metropolitana*. Tesis de Magister , Universidad de Chile , Chile.

Villanueva, J. (2016). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Cartago en los distritos oriental y occidental, Costa Rica*. Tesis de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica , Costa Rica.

Yunga, Y. (2018). *Dosificación del concreto elaborado en obra y su efecto sobre la vulnerabilidad sísmica para viviendas autoconstruidas en Carabayllo*. Tesis de Licenciatura , Universidad César Vallejo .

Zavaleta , J. (2020). *Vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas en Edificaciones urbanas. Una revisión sistemática entre el 2009 - 2019*. Universidad Privada del Norte.

7.2 Fuentes bibliográficas

Bozzo, E., & Barbat, A. (2013). *Diseño sismoresistente de edificios*. Editorial Reverté.

Hernandez, R. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw - Hill Interamericana.

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México D.F: McGraw - Hill Interamericana.

Sanchez, C., & Reyes, C. (2016). *Metodología y Diseño de la Investigación*. Bussines Support Aneth.

7.3 Fuentes hemerográficas

Instituto Geofísico del Perú. (2014). *Reporte Técnico "Zonas costeras monitoreadas y alertadas ante peligro de Tsunami - Huacho"*. Huacho: Gobierno del Perú.

Jaramillo, D. (2014). Filosofía de la Ingeniería: Una disciplina profesional. *INGE CUC* , 9-18.

Kuroiwa, J. (2016). *Manual para la reducción de riesgo sísmico de viviendas en el Perú*. Lima: Ministerio de vivienda construcción y saneamiento.

NTE. 070. (2006). *Norma Técnica de Edificaciones E-070*. Obtenido de Albañilería.

7.4 Fuentes electrónicas

Espinosa, E. (26 de Setiembre de 2017). El 70% de viviendas en Lima son informales y vulnerables a un terremoto. *RPP Noticias*. Obtenido de <https://rpp.pe/economia/economia/capeco-el-70-de-viviendas-en-lima-son-construidas-sin-normas-tecnicas-noticia-1078934?ref=rpp>

Genatios, C. (04 de Mayo de 2016). Terremotos, vivienda y vulnerabilidad en América Latina. *El País*. Obtenido de https://elpais.com/internacional/2016/05/04/actualidad/1462398218_941988.html

Manual AIS. (1984). *Asociación colombiana de ingeniería sísmica*. Obtenido de Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismoresistente de viviendas de mampostería: http://www.desenredados.org/public/libro/2001/cersrvn/mamposteria_lared.pdf

ANEXOS

ANEXO 02
MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 2: "Análisis Del Desempeño Sísmico De Edificaciones De Concreto Armado Diseñados Mediante El Método Directo Basado En Desplazamientos (DDBD) Para Estructuras De Cuatro, Cinco Y Nueve Pisos, Huacho – 2025"

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
¿Cómo se comportan estructuralmente ante un evento sísmico, las edificaciones de concreto armado de tres, seis y nueve pisos, cuando son diseñados utilizando el método de Diseño Directo Basado en Desplazamientos (DDBD)?	Evaluar el comportamiento sísmico de estructuras de hormigón armado de cuatro, cinco y nueve pisos diseñados mediante el método de Diseño Directo Basado en Desplazamientos (DDBD) en la ciudad de Huacho.	Las estructuras de concreto armado de cuatro, cinco y nueve pisos diseñados con el método DDBD presentan un mejor desempeño sísmico que las diseñadas con métodos convencionales, distrito de Huacho.	Variable X1: El comportamiento sísmico de estructuras de hormigón armado.	Comportamiento de cada elemento	Enfoque de la Investigación: Cuantitativo Diseño de Investigación No experimental Población: Edificios de la de la ciudad de Huacho-2025 Muestra: Se seleccionará algunos edificios de la ciudad Huacho-2025 Técnicas de recolección de datos: Análisis interpretación de la información Excel.
				Sismo de diseño	
¿Cómo varía el comportamiento sísmico de estructuras de concreto armado diseñadas con el método DDBD según el número de pisos, distrito de Huacho?	Analizar la respuesta estructural de edificaciones de concreto armado diseñadas con el método DDBD bajo escenarios sísmicos simulados, distrito de Huacho.	Las edificaciones diseñadas con el método DDBD presentan desplazamientos máximos y derivas inter-piso dentro de los límites permitidos por las normativas sismo-resistentes, distrito de Huacho.	Variable X2: Es diseño directo basado en desplazamientos (DDBD)	Diseño por Desempeño	
¿Qué tan eficientemente controla el DDBD los desplazamientos máximos y la deriva Inter piso en edificaciones de diferente altura, distrito de Huacho?	Comparar los niveles de desplazamiento, deriva inter-piso y daño estructural entre edificaciones de cuatro, cinco y nueve pisos, distrito de Huacho.	El comportamiento sísmico de las estructuras mejora significativamente al aplicar el método DDBD, independientemente del número de pisos (cuatro, cinco o nueve), al permitir un mejor control del daño estructural, distrito de Huacho.			
¿Qué ventajas presenta el método DDBD frente a métodos tradicionales en términos de daño estructural y desempeño sísmico, distrito de Huacho?	Determinar la eficacia del método DDBD en el control de deformaciones estructurales ante diferentes magnitudes sísmicas, distrito de Huacho.	Las edificaciones diseñadas con DDBD muestran una distribución más uniforme de esfuerzos internos y una mayor capacidad de disipación de energía durante eventos sísmicos, distrito de Huacho.			
¿Cuál es el nivel de seguridad estructural alcanzado por edificaciones de cuatro, cinco y nueve pisos diseñados con el método DDBD, distrito de Huacho?	Evaluar si las edificaciones diseñadas con DDBD cumplen con los niveles de desempeño recomendados por la normativa sismo-resistente (NEC-11).	Las estructuras diseñadas con DDBD cumplen con los niveles de desempeño definidos por la normativa NEC-11, específicamente con el nivel de seguridad de vida, distrito de Huacho.		Resistencia lateral Requerida	

Fuente: Realización propia

```

# =====
# DDBD - 4 pisos (alturas variables)
# Resultados + gráficas de FUERZAS (Fi) y DERIVAS (θi)
# Incluye etiquetas con coordenadas en cada punto
# =====

import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

# =====
# INPUTS (EDITABLES)
# =====
hs = np.array([3.0, 2.8, 2.8, 2.7], dtype=float) # alturas de entrepiso (m)
theta_target = 0.02 # deriva objetivo (2% = 0.02)

# Para fuerzas laterales Fi:
Vb = 2299.06 # kN (del cálculo DDBD que hicimos para este caso)
# Si quieres, puedes reemplazar Vb por tu propio valor.

# =====
# CÁLCULOS GEOMÉTRICOS
# =====
n = len(hs)
pisos = np.arange(1, n + 1)

h = np.cumsum(hs) # alturas acumuladas (m)
hn = h[-1] # altura total (m)

# Perfil modal triangular con alturas reales
phi = h / hn
sum_phi = phi.sum()

# =====
# DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS
# =====
Delta_roof = theta_target * hn # desplazamiento objetivo en techo (m)
Delta = Delta_roof * phi # desplazamientos por nivel (m)

Delta_prev = np.concatenate(([0.0], Delta[:-1]))
delta = Delta - Delta_prev # drift absoluto por entrepiso (m)
theta_story = delta / hs # deriva por entrepiso (-)
theta_story_pct = 100 * theta_story # (%)

# =====
# FUERZAS POR NIVEL (Fi)
# =====
Fi = Vb * (phi / sum_phi) # kN
Vi_story = np.array([Fi[i:].sum() for i in range(n)]) # cortante por entrepiso (kN), desde
techo hacia base

```

```

# =====
# TABLA DE RESULTADOS
# =====
df = pd.DataFrame({
    "Piso": pisos,
    "h_s (m)": hs,
    "h acumulada (m)": h,
    "phi_i": phi,
    "Δ_i (m)": Delta,
    "δ_i (m)": delta,
    "θ_i (%)": theta_story_pct,
    "F_i (kN)": Fi,
    "V_i (kN)": Vi_story
})

print("\n=== RESULTADOS DDBD (4 pisos, alturas variables) ===")
print(f"Altura total h_n = {hn:.3f} m")
print(f"Deriva objetivo θ = {theta_target:.4f} (-) = {100*theta_target:.2f} %")
print(f"Desplazamiento objetivo en techo Δ_roof = {Delta_roof:.4f} m")
print(f"Cortante basal Vb = {Vb:.2f} kN\n")
print(df.round(5).to_string(index=False))

# =====
# GRÁFICA 1: FUERZAS POR NIVEL (Fi) vs Piso
# =====
plt.figure()
plt.plot(Fi, pisos, marker="o")
for i in range(n):
    plt.text(Fi[i], pisos[i], f"({Fi[i]:.1f} kN, Piso {pisos[i]})")

plt.xlabel("Fuerza lateral por nivel F_i (kN)")
plt.ylabel("Piso")
plt.title("Distribución de fuerzas laterales por nivel")
plt.grid(True)
plt.show()

# =====
# GRÁFICA 2: DERIVAS POR ENTREPISO (θi %) vs Piso
# =====
plt.figure()
plt.plot(theta_story_pct, pisos, marker="o")
for i in range(n):
    plt.text(theta_story_pct[i], pisos[i], f"({theta_story_pct[i]:.2f} %, Piso {pisos[i]})")

plt.xlabel("Deriva por entrepiso θ_i (%)")
plt.ylabel("Piso")
plt.title("Derivas por entrepiso")
plt.grid(True)
plt.show()

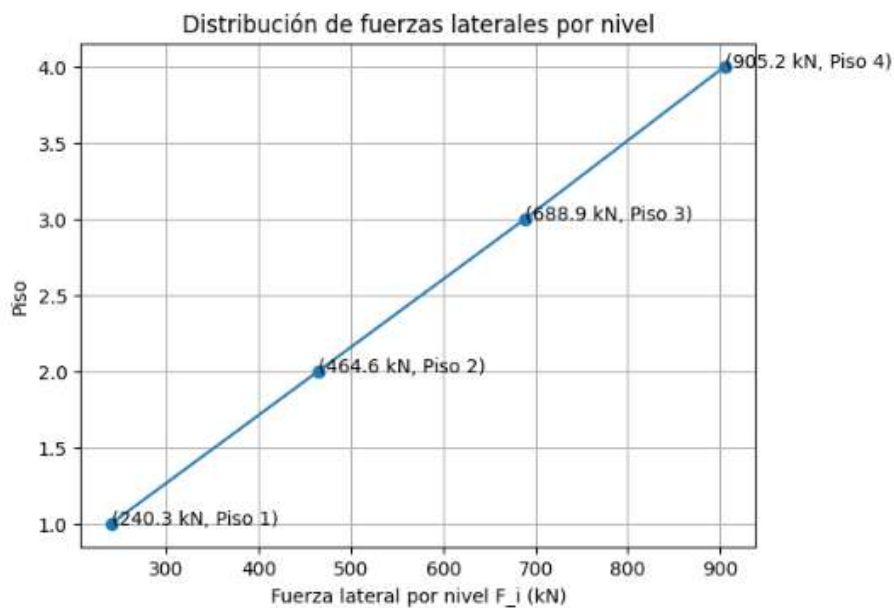
```

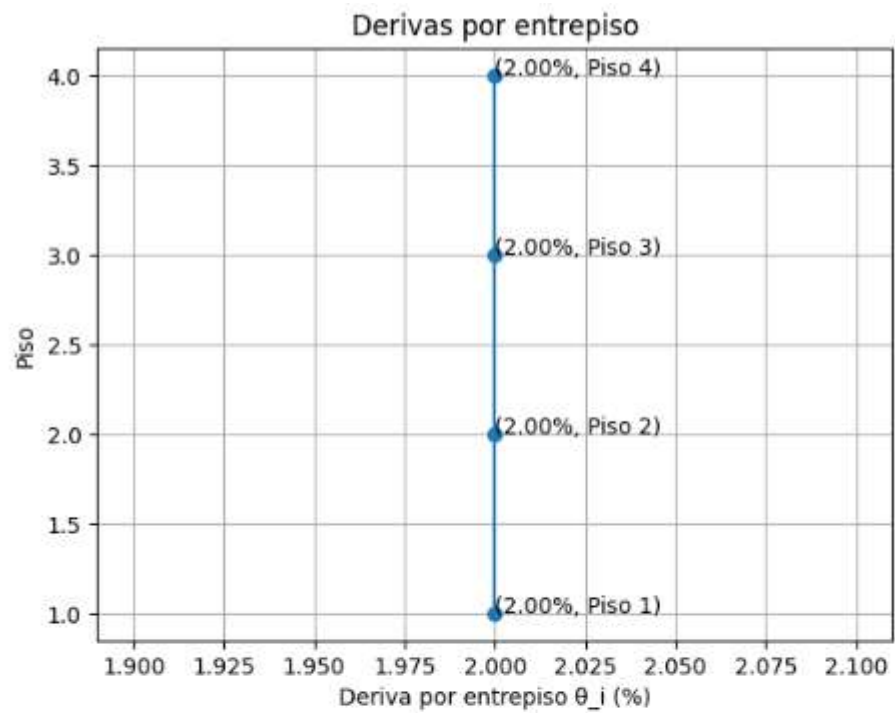
```
# =====
# (Opcional) GRÁFICA 3: DESPLAZAMIENTO vs ALTURA
# =====
plt.figure()
plt.plot(Delta, h, marker="o")
for i in range(n):
    plt.text(Delta[i], h[i], f"({Delta[i]:.3f}, {h[i]:.2f})")

plt.xlabel("Desplazamiento  $\Delta$  (m)")
plt.ylabel("Altura acumulada h (m)")
plt.title("Perfil de desplazamientos por nivel")
plt.grid(True)
plt.show()
```

```
=== RESULTADOS DDBD (4 pisos, alturas variables) ===
Altura total h_n = 11.300 m
Deriva objetivo  $\theta = 0.0200$  (-) = 2.00 %
Desplazamiento objetivo en techo  $\Delta_{\text{roof}} = 0.2260$  m
Cortante basal Vb = 2299.06 kN
```

Piso	h_s (m)	h acumulada (m)	phi_i	Δ_i (m)	δ_i (m)	θ_i (%)	F_i (kN)	V_i (kN)
1	3.0	3.0	0.26549	0.060	0.060	2.0	240.31986	2299.06000
2	2.8	5.8	0.51327	0.116	0.056	2.0	464.61840	2058.74014
3	2.8	8.6	0.76106	0.172	0.056	2.0	688.91693	1594.12174
4	2.7	11.3	1.00000	0.226	0.054	2.0	905.20481	905.20481





```

# =====
# DDBD - Perfil de desplazamientos y derivas (con coordenadas)
# Edificio 5 pisos (Huacho-2026) con alturas variables
# Muestra tabla de resultados + gráficas con puntos etiquetados
# =====

import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt

# =====
# INPUTS (EDITABLES)
# =====
hs = np.array([3.2, 3.0, 2.8, 2.8, 2.7], dtype=float) # alturas de entrepiso (m)
theta_target = 0.02 # deriva objetivo global (2% = 0.02)

# =====
# CÁLCULOS
# =====
n = len(hs)
pisos = np.arange(1, n + 1)

# Alturas acumuladas (m)
h = np.cumsum(hs)
hn = h[-1]

# Perfil modal triangular:  $\phi_i = h_i / h_n$ 
phi = h / hn

# Desplazamiento objetivo en techo
Delta_roof = theta_target * hn

# Desplazamientos por nivel
Delta = Delta_roof * phi

# Drifts absolutos por entrepiso
Delta_prev = np.concatenate(([0.0], Delta[:-1]))
delta = Delta - Delta_prev

# Deriva por entrepiso (ratio)
theta_story = delta / hs

# =====
# TABLA DE RESULTADOS
# =====
df = pd.DataFrame({
    "Piso": pisos,
    "h_s (m)": hs,
    "h acumulada (m)": h,
    "phi_i": phi,
    "Delta_i (m)": Delta,
})

```

```

    "delta_i (m)": delta,
    "theta_i (-)": theta_story,
    "theta_i (%)": 100 * theta_story
})

print("\n=== RESULTADOS DDBD (perfil triangular) ===")
print(f"Altura total h_n = {hn:.3f} m")
print(f"Deriva objetivo global theta = {theta_target:.4f} (-) = {100*theta_target:.2f} %")
print(f"Desplazamiento objetivo en techo Δ_roof = {Delta_roof:.4f} m\n")
print(df.round(5).to_string(index=False))

# =====
# GRÁFICA 1: Desplazamiento vs Altura (con coordenadas)
# =====
plt.figure()
plt.plot(Delta, h, marker="o")

for i in range(n):
    # etiqueta (x,y) en cada punto
    plt.text(Delta[i], h[i], f"({Delta[i]:.3f}, {h[i]:.2f})")

plt.xlabel("Desplazamiento Δ (m)")
plt.ylabel("Altura acumulada h (m)")
plt.title("Perfil de desplazamientos por nivel")
plt.grid(True)
plt.show()

# =====
# GRÁFICA 2: Derivas por entrepiso (con coordenadas)
# Nota: graficamos θ_i (%) vs Piso
# =====
plt.figure()
x_vals = 100 * theta_story    # θ_i en %
y_vals = pisos                # piso 1..n

plt.plot(x_vals, y_vals, marker="o")

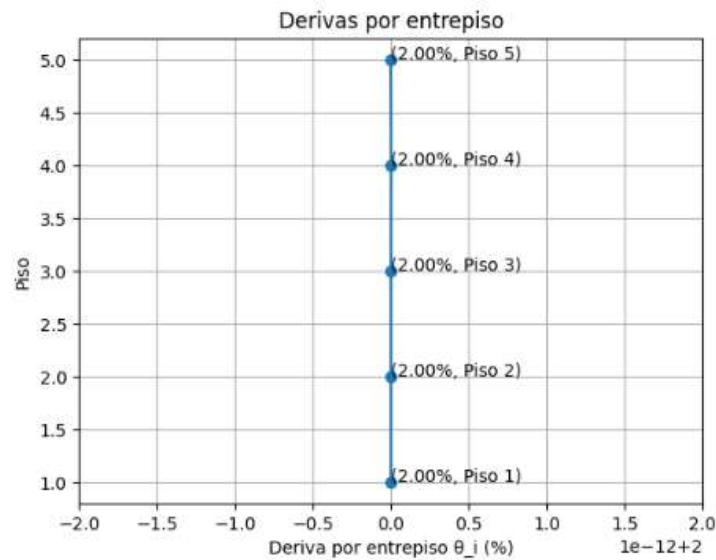
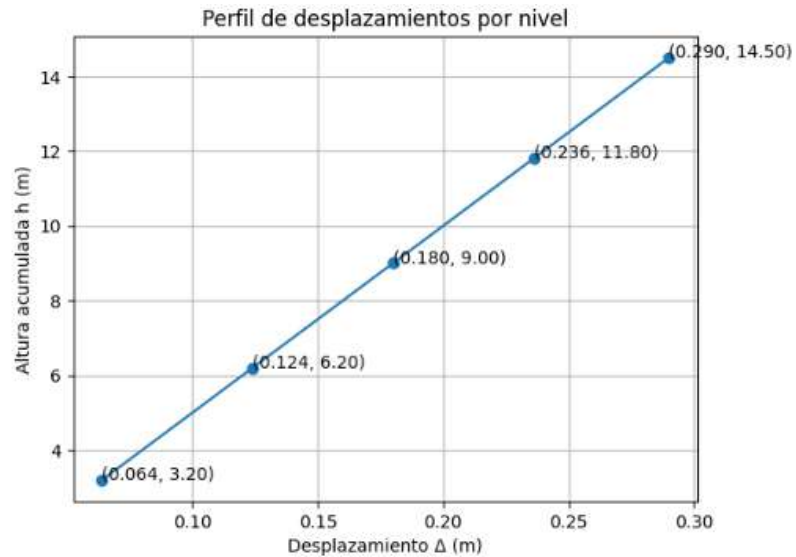
for i in range(n):
    plt.text(x_vals[i], y_vals[i], f"({x_vals[i]:.2f}%, Piso {i+1})")

plt.xlabel("Deriva por entrepiso θ_i (%)")
plt.ylabel("Piso")
plt.title("Derivas por entrepiso")
plt.grid(True)
plt.show()

```

=== RESULTADOS DDBD (perfil triangular) ===
 Altura total $h_n = 14.500$ m
 Deriva objetivo global $\theta = 0.0200$ (-) = 2.00 %
 Desplazamiento objetivo en techo $\Delta_{roof} = 0.2900$ m

Piso	h_s (m)	h acumulada (m)	ϕ_i	Δ_i (m)	δ_i (m)	θ_i (-)	θ_i (%)
1	3.2	3.2	0.22069	0.064	0.064	0.02	2.0
2	3.0	6.2	0.42759	0.124	0.060	0.02	2.0
3	2.8	9.0	0.62069	0.180	0.056	0.02	2.0
4	2.8	11.8	0.81379	0.236	0.056	0.02	2.0
5	2.7	14.5	1.00000	0.290	0.054	0.02	2.0



```

# =====
# DDBD – 9 PISOS – EJE MAYOR (75 m)
# HUACHO – 2026
# Fuerzas, Desplazamientos y Derivas en dirección X (75 m)
# =====

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

# =====
# 1) GEOMETRÍA
# =====
Lx = 75.0 # eje mayor (dirección analizada)
Ly = 36.0 # eje menor

hs = np.array([3.6, 3.0, 3.0, 3.0, 3.0, 2.8, 2.8, 2.8, 2.8])
n = len(hs)
pisos = np.arange(1, n+1)

h = np.cumsum(hs)
hn = h[-1]

# =====
# 2) RESULTADOS DDBD (EJE MAYOR)
# =====
theta_d = 0.015
Delta_roof = 0.402 # m

me = 11626.16
he = 19.02
Te = 2.157
Ke = 98647.27
Vb = 39656.20

Fi = np.array([1031.52, 1891.12, 2750.72, 3610.32, 4469.92,
               5272.21, 6074.51, 6876.80, 7679.09])

# =====
# 3) DESPLAZAMIENTOS EN EJE MAYOR (perfil triangular)
# =====
phi = h / hn
Delta_i = Delta_roof * phi

Delta_prev = np.concatenate(([0.0], Delta_i[:-1]))
delta_i = Delta_i - Delta_prev
theta_i_pct = 100 * (delta_i / hs)

# =====

```

```

# 4) IMPRESIÓN
# =====
print("\nANÁLISIS EN EJE MAYOR (75 m)")
print("=====")
print(f"• Altura total h_n = {hn:.2f} m")
print(f"•  $\Delta_{roof}$  (X) = {Delta_roof:.3f} m")
print(f"• V_b (X) = {Vb:.2f} kN")
print("• Fuerzas en dirección X:")
print(", ".join([f"F{i+1} = {Fi[i]:.1f} kN" for i in range(n)]))

# =====
# 5) GRÁFICA 1 – FUERZAS (EJE MAYOR)
# =====
plt.figure()
plt.plot(Fi, pisos, marker="o")

for i in range(n):
    plt.text(Fi[i], pisos[i], f"({Fi[i]:.0f}, Piso {pisos[i]})")

plt.xlabel("Fuerza lateral F_i (kN) – Dirección X (75 m)")
plt.ylabel("Piso")
plt.title("Fuerzas Laterales – Eje Mayor (75 m)")
plt.grid(True)
plt.show()

# =====
# 6) GRÁFICA 2 – DESPLAZAMIENTO (EJE MAYOR)
# =====
plt.figure()
plt.plot(Delta_i, h, marker="o")

for i in range(n):
    plt.text(Delta_i[i], h[i], f"({Delta_i[i]:.3f} m, {h[i]:.1f} m)")

plt.xlabel("Desplazamiento  $\Delta_i$  (m) – Dirección X")
plt.ylabel("Altura (m)")
plt.title("Perfil de Desplazamientos – Eje Mayor (75 m)")
plt.grid(True)
plt.show()

# =====
# 7) GRÁFICA 3 – DERIVAS
# =====
plt.figure()
plt.plot(theta_i_pct, pisos, marker="o")

for i in range(n):
    plt.text(theta_i_pct[i], pisos[i],
             f"({theta_i_pct[i]:.2f}%, Piso {pisos[i]})")

plt.xlabel("Deriva  $\theta_i$  (%) – Dirección X")

```

```
plt.ylabel("Piso")
plt.title("Derivas por Entrepiso – Eje Mayor (75 m)")
plt.grid(True)
plt.show()
```

