

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE PROFESIONAL: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Análisis del comportamiento sísmico del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura distrito, provincia de Abancay departamento de Apurímac, 2023

Asesor:

Dr. Soto Palomino, Wilfredo

Autor:

Cortez Peña, Yhojam Melanio

Para optar el título profesional de: Ingeniero civil

Abancay – Apurímac – Perú

2026

Acta de sustentación



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 002

En la ciudad de Abancay, a los catorce días del mes de enero del 2026, siendo las 11:00 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0025-2026- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 08 de enero del 2026, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Ing. Cayo Baca, Holguer
Dictaminante :	Dr. Alarcón Camacho, Erick
Replicante :	Ing. Gamarra Mota, Rubén

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Análisis del comportamiento sísmico del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo – estructura distrito, provincia de Abancay departamento de Apurímac, 2023

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Cortez Peña, Yhojam Melanio

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Cortez Peña, Yhojam Melanio	Aprobado

Siendo las 11:40am horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Ing. Cayo Baca, Holguer

Dictaminante: Dr. Alarcón Camacho, Erick

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 398

Abancay 14 de enero del 2026

(*): Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**): 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con distinción, Art. 18 RGGAT.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

Reporte de similitud






9% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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.



Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Cortez Peña Yhojam Melanio
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	74586759
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0003-9345-9709
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Soto Palomino Wilfredo
Tipo de Documento de Identidad	:	DNI
Número de Documento de Identidad	:	41934951
ORCID	:	https://orcid.org/0000-0001-5926-8077
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ingeniería civil
Línea de Investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en que se realizó la investigación	:	1-2 años
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	9 %
URL de OCOE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mis padres:

Cortez Ñahuinlla Melanio y Peña Loayza Marizol, por su incondicional apoyo día a día en mi superación profesional y personal.

A mi esposa e hija, por el cariño inmensurable que me brindan y por ser mi constante inspiración.

A mis hermanas por su constante exigencia y aliento a seguir escalando en mis metas personales

Para ustedes con todo mi cariño va dedicada la presente tesis.

Yhojam Melanio Cortez Peña

Agradecimiento

A Dios, por ser guía en mi vida profesional y personal.

Al Dr. Wilfredo Soto Palomino, por su constante apoyo y asesoramiento en la realización de la presente investigación, su experiencia y valiosos aportes han sido importantes en la presente tesis.

Yhojam Melanio Cortez Peña

Resumen

La presente tesis tiene la finalidad de estudiar el comportamiento sísmico del nuevo Palacio Municipal de Abancay considerando la interacción suelo-estructura (ISE). La investigación sigue un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental de nivel descriptivo. Para el análisis estructural, se emplearon modelos computacionales mediante el software ETABS, utilizando dos escenarios: uno con base empotrada y otro incluyendo la interacción suelo-estructura (ISE). Se evaluaron los espectros de diseño, los períodos de vibración y los máximos desplazamiento por piso, con base en normativas como la NTE E.030 y ASCE/SEI 41-17.

Los resultados evidenciaron que la ISE reduce la demanda sísmica hasta en un 9.84 % en períodos cortos, mientras que en períodos largos la diferencia es insignificante. Además, los períodos de vibración mostraron variaciones mínimas, con un máximo del 1.82 %, lo que indica que la cimentación y el suelo de fundación rígidos limitan los efectos de la ISE. Asimismo, los desplazamientos por piso no superaron variaciones del 1.12 %, lo que confirma la estabilidad estructural de la edificación. Se concluye que, en edificaciones con suelos rígidos y cimentaciones robustas, la ISE no repercute significativamente antes eventos sísmico. Se recomienda considerar la interacción suelo-estructura en edificaciones sobre suelos más flexibles o con cimentaciones superficiales para mejorar la precisión del análisis estructural.

Palabras clave: interacción suelo-estructura, comportamiento sísmico, espectro de diseño, periodos de vibración.

Abstract

This study aims to determine the seismic behavior of the new Municipal Palace of Abancay considering the soil-structure interaction (SSI). The research follows a quantitative approach with a non-experimental descriptive design. Structural analysis was performed using computational models in ETABS software, evaluating two scenarios: one with a fixed-base model and another incorporating soil-structure interaction. The study assessed design spectra, vibration periods, and maximum floor displacements, following standards such as NTE E.030 and ASCE/SEI 41-17.

The results indicated that SSI reduces seismic demand by up to 9.84% for short periods, while for longer periods, the variation is negligible. Moreover, vibration periods exhibited minimal differences, with a maximum variation of 1.82%, suggesting that the rigid foundation and soil minimize the effects of SSI. Likewise, maximum floor displacements did not exceed a 1.12% variation, confirming the structural stability of the building. It is concluded that for structures with rigid soils and robust foundations, SSI does not significantly alter seismic response. However, it is recommended to consider SSI in buildings located on softer soils or with shallow foundations to enhance the accuracy of structural analysis.

Keywords: soil-structure interaction, seismic behavior, design spectrum, vibration periods.

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos.....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice.....	ix
Índice de Tablas.....	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos.....	xii
I. Introducción	13
II. Planteamiento del problema.....	15
2.1. Descripción y formulación del problema	16
2.2. Objetivos	16
2.2.1. Objetivo general	16
2.2.2. Objetivos específicos.....	17
2.4. Hipótesis	18
2.5. Variables	19
III. Marco teórico	21
3.1. Antecedentes de investigación	21
3.2. Bases teóricas.....	27
3.3. Definición de términos	33
IV. Metodología	35
4.1. Tipo y nivel de investigación.....	35
4.3. Población muestra y muestreo	37
4.4. Instrumentos	39
4.5. Procedimiento	40
4.7. Consideraciones éticas.	41
V. Resultados y discusión	42
VI. Conclusiones.....	48
VII. Recomendaciones.....	50
VIII. Referencias	52

Índice de Tablas

Tabla 1. Variación del periodo de vibración con y sin interacción suelo-estructura.....	42
Tabla 2. Variación de los valores de masas en los modos de vibración con y sin ISE.....	43
Tabla 3. Variación de los desplazamiento máximos con y sin ISE.....	45

Índice de figuras

Figura 1. <i>Cimentación sujeta a ondas de corte inclinadas</i>	28
Figura 2. <i>Funciones de transferencia en campo libre</i>	29
Figura 3. <i>Esquema de un modelo empotrado de una grado de libertad</i>	30
Figura 4. <i>Esquema de un modelo flexible de una grado de libertad</i>	30
Figura 5. <i>Espectro de pseudo- aceleración de una base rígida y flexible</i>	31
Figura 6. <i>Comparación del espectro de diseño con y sin interacción suelo-estructura</i>	43

Índice de anexos

Anexo 1. Matriz de consistencia	56
Anexo 2. Proceso de modelamiento estructural.....	58

I. Introducción

El comportamiento sísmico de las edificaciones ha sido un tema de relevante en la ingeniería estructural, especialmente en regiones de alta sismicidad como el Perú. Dentro de este campo, la interacción suelo-estructura (ISE) es un fenómeno que viene cobrando importancia en los últimos años, ya que permite evaluar de manera más precisa la respuesta dinámica de una edificación al considerar la flexibilidad del suelo de cimentación. En ese sentido, la investigación busca como propósito como afecta la interacción suelo-estructura en el comportamiento sísmico del nuevo Palacio Municipal de Abancay, considerando un modelo idealizado de la estructura con configuraciones flexibles de la estructura.

En el primer Capítulo se expone el planteamiento del problema, en el que se analiza la problemática al ignorar el ISE en los diseños estructurales comunes. El estudio justifica su importancia porque aborda temas como la seguridad estructural de acuerdo a las normas vigentes, seguidamente se detalla los objetivos generales y específicos de mi investigación, los cuales se centran en la evaluación del espectro de diseño, los períodos de vibración y los desplazamientos máximos de la edificación bajo la influencia del suelo.

En el segundo capítulo, está dedicado a exponer el marco teórico, el cual muestra los conceptos básicos para entender la tesis y se analiza los antecedentes de estudios previos vinculados con la interacción suelo-estructura. Se describen las bases teóricas que sustentan la tesis, así como se describen párrafos de las normativas internacionales como la NTE E.030 y la ASCE/SEI 41-17. Además, se esclarecen los términos clave para una adecuada correcta comprensión del estudio.

En el tercer capítulo se centra en la metodología de la investigación, donde se define el tipo y nivel de estudio, el diseño de investigación utilizada. Se describe la obtención de la población y muestra seleccionada. Se explican los instrumentos empleados en la recolección de datos como lo son los planos estructurales, el estudio de mecánica de

suelos y el uso del software ETABS para el modelado y análisis sísmico. Además, se detalla los procedimientos realizados para la obtención y resultados del análisis con interacción suelo – estructura.

En el cuarto capítulo, se exponen los hallazgos obtenidos luego de aplicar en análisis estructural al modelo flexible. Se realiza una comparación de los valores obtenidos del espectro de diseño, los períodos de vibración y los desplazamientos máximos por piso considerando los dos casos de estudio, estos resultados nos permiten evaluar como el impacto de la flexibilidad del terreno afecta en la respuesta sísmica del Palacio Municipal de Abancay.

El quinto capítulo se centra en abordar la discusión de resultados donde se comparan los hallazgos obtenidos de investigaciones anteriores y normativas internacionales. Se analizan las repercusiones de los resultados en el diseño sismorresistente lo cual implicara a las posibles limitaciones de la tesis.

En el sexto capítulo, se presentan las conclusiones y recomendaciones. Aquí se destacan los resultados claves del estudio y se sugieren los posibles lineamientos para investigadores en el área, destacando la importancia de considerar la interacción suelo-estructura en edificaciones construidas sobre suelos flexibles.

La relevancia de esta investigación reside en su aportación al diseño estructural en el contexto sísmico peruano, proporcionando datos que sirven de información relevante para optimizar la seguridad de las edificaciones a través de la incorporación de modelos de análisis estructural más realistas a la naturaleza de nuestro entorno.

II. Planteamiento del problema

A nivel internacional, (Chávez, 2021) en su investigación indica que el análisis suelo -estructura en edificios cimentados sobre suelos blandos es necesario para evaluar su comportamiento sísmico y garantizar su seguridad ante eventos post sismo. En la región de Quito, predominan suelos de baja rigidez con precedencia de suelo arenosos y arcillosos debido a ello la respuesta estructural puede amplificarse significativamente debido al coeficiente de amplificación, afectando el desempeño estructural de las edificaciones. Ensayos en mesa vibratoria de laboratorios especializado han demostrado que las derivas de las edificaciones analizadas pueden aumentar en más del 300% cuando se considera la flexibilidad del suelo en comparación con una estructura empotrada. Sin embargo, en la región muchos de los diseños no se incorporan adecuadamente el ISE, generando edificaciones con riesgos estructurales. Esta investigación busca validar de manera experimental la influencia del suelo en la respuesta sísmica a través de modelos computacionales.

A nivel nacional, (Valle, 2021) nos presenta en su tesis análisis sísmico de edificaciones, si asumimos un empotramiento perfecto en la cimentación se puede generar resultados imprecisos ya que el suelo presenta propiedades inelásticas que determinan en un gran porcentaje la respuesta estructural. En Chachapoyas, donde el tipo de suelo es variable, la ISE puede afectar el desempeño de la cimentación en viviendas multifamiliares. Las propiedades de la flexibilidad del suelo pueden alterar las presiones, asentamientos y esfuerzos internos en la cimentación por los diferentes valores de rigideces que se tiene en las diferentes direcciones y rotaciones, estos datos no siempre se consideran en el diseño convencional. A falta de estudios profundos y detallados sobre este efecto puede comprometerse la seguridad estructural de los edificios. Esta investigación busca evaluar dicha interacción para optimizar el diseño sísmico de edificaciones en la región.

En la ciudad de Abancay numerosos proyectos de edificaciones destinadas a diversos usos, como viviendas unifamiliares y multifamiliares, oficinas, comercios entre

otros se vienen diseñando y ejecutando, estos proyectos no contemplan el análisis ISE lo que afecta la precisión del diseño estructural ante eventos sísmicos. La omisión de este factor puede llevar a una cuantificación inadecuada del acero, dimensiones incorrectas de los elementos estructurales y desplazamientos inexactos.

Además, el estudio de suelos es fundamental para obtener parámetros geotécnicos precisos que permitan un análisis confiable de la ISE, ya que una caracterización deficiente podría generar errores en el peor de los casos, provocando fallas estructurales. Esta falta de aplicación masiva de la metodología en el Perú y en el mundo se debe, en gran parte, a la limitada disponibilidad de estudios geotécnicos detallados. En este contexto, la nueva infraestructura del Palacio Municipal de Abancay, por su importancia y magnitud, requiere un análisis estructural exhaustivo que considere la interacción suelo-estructura para evaluar su comportamiento ante solicitudes sísmicas y garantizar su seguridad y funcionalidad a largo plazo.

2.1. Descripción y formulación del problema

2.1.1 Problema general

¿Cómo es el comportamiento sísmico del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura, Abancay-2023?

2.1.2 Problemas específicos

a. ¿Cómo variara el espectro de diseño del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura, Abancay-2023?

b. ¿Cómo variara los periodos de vibración de la estructura del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura, Abancay-2023?

c. ¿Cómo variara los desplazamientos laterales de la estructura del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura, Abancay-2023?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento sísmico del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura, Abancay-2023

2.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el espectro de diseño del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura, Abancay-2023.
- Obtener los periodos de vibración de la estructura del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura, Abancay-2023.
- Calcular los desplazamientos laterales de la estructura del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura, Abancay-2023.

2.3. Justificación e importancia

Justificación teórica

El análisis del comportamiento sísmico de edificaciones considerando la interacción suelo-estructura (ISE) se sustenta en principios estructurales y geotécnicos. La teoría de la dinámica de suelos y estructuras indica que el movimiento sísmico no solo afecta a la edificación, sino que también modifica la respuesta del suelo sobre el que se encuentra cimentado. Modelos teóricos como el método de FEM y la teoría de vibraciones de sistemas dinámicos permiten evaluar los efectos de la ISE, contribuyendo al diseño de estructuras más seguras y resilientes. Asimismo, normativas internacionales y nacionales, como la Norma Técnica E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú y el ASCE 7-22, respaldan la importancia de considerar estos efectos en el diseño sismo-resistente.

Justificación Práctica

La infraestructura del nuevo Palacio Municipal de Abancay al albergar en sus instalaciones una masa de personas considerable se clasifica como una infraestructura crítica por ende debe garantizar sus servicios durante y después de eventos naturales como los sismos que generen desplazamientos laterales a la edificación, considerando que en la ciudad de Abancay se registra actividad sísmica continua en los últimos años para ello la evaluación de las características geotécnicas en conjunto con la estructura permitirá reconocer posibles deficiencias en el diseño y proponer alternativas de solución

que optimicen su desempeño ante sismos. La investigación beneficiará a la municipalidad provincial de Abancay a regular algunas de sus acciones como entidad, sino que también servirá como referencia para futuras edificaciones en la región, reduciendo el riesgo de daños estructurales y protegiendo a la población.

Justificación Metodológica

La investigación tiene un enfoque cuantitativo y utilizando simulaciones numéricas de análisis y modelado para estudiar el comportamiento sísmico del Palacio Municipal ante eventos sísmicos. Se aplicó el análisis estructural y geotécnico considerando la flexibilidad de la cimentación, incluyendo software comercial especializado (ETABS,) para simular la ISE. Se utilizará los estudios de mecánicas de suelo para la caracterización del suelo y estudios de refracción sísmica para la obtención de los parámetros geotécnicos necesarios para el análisis. Esta combinación de métodos permitirá realizar una evaluación integral del desempeño sísmico del edificio, asegurando un diseño optimizado y basado en evidencia científica.

Importancia

La presente tesis acerca del comportamiento sísmico del nuevo Palacio Municipal de Abancay utilizando la interacción suelo estructura ISE es esencial para garantizar la seguridad estructural del edificio ante posibles sismos en la zona del proyecto. La actividad sísmica en la región permite comprender cómo las condiciones de contorno del suelo afectan la respuesta estructural, lo que permitirá optimizar el diseño y reducir vulnerabilidades. Este estudio ayuda a ver de otra perspectiva de análisis como se comportará sísmicamente la infraestructura municipal cuyo efecto será minimizar riesgos para los ocupantes y asegurando la continuidad de operación del edificio en situaciones de emergencia. Además, los resultados servirán de guía para futuras construcciones en la provincia de Abancay, fomentando un desarrollo urbano y rural más seguro .

2.4. Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

Varía el comportamiento sísmico del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura, Abancay-2023

2.4.2 Hipótesis específicas

- Varía el espectro de diseño de la estructura del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura, Abancay-2023.

- Varía los periodos de vibración de la estructura del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura, Abancay-2023

- Varía los desplazamientos de la estructura del nuevo palacio municipal considerando interacción suelo- estructura, Abancay-2023

2.5. Variables

Variable independiente: Interacción Suelo-Estructura

Variable Dependiente: Comportamiento Sísmico

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de medición	Instrumento
Variable D: Suelo-Estructura	El concepto de interacción suelo-estructura se define como el fenómeno en el que la capacidad de deformación del terreno modifica la forma en que una edificación responde a las fuerzas generadas por un sismo. Esto establece una relación bidireccional o mutua, dado que los movimientos y las fuerzas sísmicas alteran tanto el comportamiento de la estructura como las propiedades del suelo que la rodea (Avilés y Pérez, 2004).	La interacción suelo-estructura se medirá a través del módulo de elasticidad y Poisson del suelo, rigidez traslacional y rotacional, y resistencia del concreto. Se emplearán ensayos geotécnicos, pruebas de compresión y análisis numéricos con software estructural.	<ul style="list-style-type: none"> • Módulo de corte efectivo Fuerza cortante sísmica • Rigidez Traslacional • Rigidez Rotacional 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de ondas de corte • Peso específica del Suelo • Espesor de zapata • Módulo de Poisson • Resistencia del concreto f_c 	Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Interpretación y observación de memorias de cálculo. • Planos estructurales.
Variable I: Comportamiento Dinámico	Araca Llanos et al. (2020) describen el comportamiento sísmico de una estructura como la forma en que esta responde ante la acción de las fuerzas inducidas por un sismo.	El comportamiento sísmico se analizará mediante el periodo fundamental de vibración, fuerzas cortantes y derivas de entrepiso.	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis modal espectral • Desplazamientos 	<ul style="list-style-type: none"> • Rigidez • Masa • Altura de Edificación • Derivas de entrepiso 	Razón	<ul style="list-style-type: none"> • Software ETABS • Nomas E030, ASCE/SEI 17

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes de investigación

3.1.1 A nivel internacional

Acuña & Molina (2023), en su artículo científico titulado “Efectos de la interacción suelo estructura (ISE) en una edificación de 5 pisos tipo pórtico en concreto reforzado sobre suelo blando (arcilla) típico en la ciudad de Montería -Córdoba” donde se investigó los efectos del ISE. La muestra está compuesta por una edificación de 5 pisos en el suelo blando de la ciudad de Montería, como resultado de la investigación se obtuvieron que los Periods of Vibration aumento en un 34% respecto a la base empotrada, el cortante basal vario en un 0.5% para las solicitaciones de acuerdo al espectro de diseño a su vez también se tuvo un aumento en 1% las derivas máximas de entrepiso, por ende los autores concluyen que los efectos del ISE dependen de las características técnicas tanto de la estructura como la del suelo a cimentar estos parámetros definirán los cambios que tendrán cuando se utilice una base flexible y otra fija.

López et al. (2022), en su publicación científica titulada “Comparación de diseño estructural entre dos edificaciones de concreto armado de seis niveles utilizando interacción suelo-estructura en el rango lineal”, tienen como finalidad comparar la variación del diseño estructural en modelo de base empotrada y otra de base flexible. La muestra está dada por una edificación de 7 pisos de pórticos resistentes a momentos teniendo como resultado que el aumento de los periodos así como la cuantía de acero en vigas varía entre un 7% y 25% respectivamente por otro lado en columnas la variación es aún mayor entre un 29% y 39% todo esto para el acero longitudinal de los elementos estructurales en el caso del acero transversal la variación estuvo dada entre 3% y 11 % en columnas y en vigas entre 5% y 45%, las derivas variaron entre 1% y 14% por último se obtuvieron una disminución en las cortantes

báseles hasta un 20% ,los autores concluyen que es necesario la inclusión de este tipo de análisis para los diseños estructurales de edificaciones en el rango lineal

Castro & Pérez (2020), en su tesis “Análisis de la interacción suelo -estructura estática para una edificación regular de hormigón armado y 3 tipos de suelos “de la Universidad Politécnica Salesiana-Ecuador, tienen como finalidad modelar una estructura utilizando ISE para tres diferentes tipologías de suelo y compararlo con modelo de empotramiento perfecto. La metodología empleada es del tipo aplicada con un enfoque cuantitativo con un diseño de investigación cuasi experimental. La muestra consta de una vivienda de 6 niveles con cimentación superficial en tres perfiles de suelos A(Roca),C(Suelos blandos o roca blanda),E(arcillas blandas).El resultado de la tesis menciona que cuando se trata de suelos de media-baja calidad como los suelos tipo C y E la cuantía de acero de diferencia es considerable en el modelo de interacción suelo-estructura, todo lo contrario cuando se trata de perfiles de suelo de buena calidad la influencia de este análisis no es tan relevante los autores concluye que modelos de estructurales de 5 niveles para arriba es necesaria realizar ISE

Arancibia (2020), realizó una investigación titulada "Estudio del efecto de la interacción suelo-estructura en edificios bajos de albañilería", con el propósito de analizar la influencia del ISE en estructuras de tipología de albañilería de un nivel,. El estudio se clasificó como una investigación aplicada, con un enfoque cuantitativo y de tipo experimental. La población estuvo compuesta por viviendas de albañilería de un piso, y la muestra consideró modelos estructurales con diferentes condiciones de cimentación y tipos de suelo. Para el análisis, se utilizaron dos metodologías principales: el método de subestructura, que emplea sistemas de resortes y amortiguadores para modelar la interfaz suelo-fundación, y el método de análisis directo, que incorpora bordes artificiales como los absorbentes de Lysmer-Kuhlmeyer y los bordes TDOF. Teniendo como el ISE ocasiona una variación del periodo de vibración, un incremento en la amortiguación general de la edificación y una disminución en la demanda

sísmica de la estructura, efectos que fueron más significativos en suelos blandos y en estructuras con periodos de vibración bajos. Concluyó que el ISE, debe ser considerada en el diseño sísmico de edificaciones de albañilería, especialmente en suelos de menor rigidez, ya que su omisión podría llevar a subestimaciones en el análisis estructural y comprometer la seguridad de la construcción.

Corratgé et al. (2022), en su tesis “Influencia de la interacción dinámica suelo-estructura en el mecanismo de colapso y nivel de desempeño de una edificación de 10 niveles de hormigón armado con tipología mixta, se enfocó en analizar la influencia de la interacción dinámica suelo-estructura (ISE) sobre la respuesta de una edificación de diez niveles construida en hormigón armado ante la acción sísmica. El estudio se basó en el análisis estático no lineal push-over, implementado mediante el software comercial utilizando modelos de ISE derivados de las metodologías de Pais & Kausel y Sargsian. Al comparar la respuesta estructural en condiciones de suelos rígidos frente a arcillas blandas, los resultados demostraron que la inclusión de la ISE provoca un incremento significativo en los desplazamientos máximos en la azotea y un aumento en las derivas interpiso, señalando una mayor deformabilidad global de la estructura. De forma simultánea, se identificó una reducción en el cortante basal asociado a la fluencia y al mecanismo de colapso, lo que sugiere que el tradicional modelo de base empotrada rígida subestima las demandas reales de desplazamiento y podría conducir a una estimación incorrecta de las fuerzas sísmicas de diseño. Concluyeron que la incorporación de la interacción suelo-estructura en el diseño sismorresistente es fundamental para garantizar niveles adecuados de desempeño estructural y evitar fallos prematuros en edificaciones sometidas a movimientos sísmicos intensos.

3.1.2 A nivel Nacional

Alvarado & García (2021), en su publicación científica titulada “Influencia del análisis interacción Suelo-Estructura de edificios de concreto armado -Lima 201” la investigación desarrollada en Lima durante el 2021 tuvo como propósito fundamental cuantificar el impacto

de la interacción suelo-estructura (ISE) sobre el comportamiento sísmico de edificaciones de concreto armado. Mediante un enfoque cuantitativo aplicado y un diseño cuasi-experimental, se evaluaron tres modelos estructurales a porticados de 5, 7 y 9 niveles, cimentados sobre zapatas aisladas en perfiles de suelo tipo S2 y S3. Los resultados del análisis comparativo evidenciaron que, al contrastar con el modelo tradicional de base empotrada, la metodología basada en la norma rusa registró las mayores variaciones en los periodos de vibración; específicamente, se observaron incrementos significativos que oscilaron entre el 30% y el 53% para las estructuras de 7 y 9 pisos, mientras que la edificación de 5 niveles presentó la mayor sensibilidad con un aumento del 64.95% en suelo S2. En conclusión, el estudio validó que la incorporación de la flexibilidad de la base en el análisis dinámico modal-espectral modifica sustancialmente los periodos fundamentales de la estructura, demostrando que la omisión de la ISE en suelos intermedios y blandos conlleva a diferencias críticas respecto a la respuesta real de la edificación.

Flores & Mena (2021), en su tesis “Análisis sísmico de una estructura aporticada considerando y sin considerar la interacción suelo estructura, Lima, 2021”, tiene como finalidad de contrastar la respuesta sísmica de un sistema aporticado bajo condiciones de base fija frente a la consideración de la interacción suelo-estructura (ISE), se ejecutó una investigación aplicada de enfoque cuantitativo y diseño cuasi-experimental sobre una edificación de cuatro niveles cimentada en zapatas aisladas. El análisis comparativo evaluó el modelo tradicional empotrado frente a modelos dinámicos basados en las teorías de D.D. Barkan - O.A. Savinov y los criterios de la norma rusa SNIP 2.02.05-87. Los resultados obtenidos demostraron que la incorporación de la flexibilidad del suelo no solo prolonga los periodos de vibración y amplifica los desplazamientos laterales, sino que también altera la distribución de esfuerzos internos, generando una reducción en las cargas axiales acompañada de un incremento en los momentos flectores y las fuerzas cortantes. A partir de estos hallazgos, se concluye que la aplicación de la ISE modifica sustancialmente el estado

de esfuerzos de la estructura, evidenciando las limitaciones del análisis convencional de base rígida.

Meza (2021), en su trabajo académico (tesis) titulada "Optimización del diseño estructural de un edificio multifamiliar en suelos blandos, con el modelo interacción suelo-estructura en Lurín-Lima" La investigación desarrollada en Lurín sobre una edificación multifamiliar de siete niveles tuvo como propósito principal optimizar el diseño estructural en suelos blandos mediante la integración de la interacción suelo-estructura (ISE). A través de una metodología aplicada de enfoque cuantitativo y diseño descriptivo, se analizó el comportamiento de una cimentación de zapatas conectadas aplicando el modelo dinámico estipulado por la norma rusa SNIP 2.02.05-87. Los resultados comparativos evidenciaron que la incorporación de la flexibilidad en la base genera un alargamiento en los periodos de los doce modos de vibración y un incremento en los desplazamientos laterales (21.45% en el eje X y 17.36% en el eje Y); sin embargo, este fenómeno permitió una atenuación significativa del cortante basal, disminuyendo las fuerzas sísmicas entre un 20.83% y un 21.94%. Esta redistribución de esfuerzos internos validó la influencia crítica de las propiedades mecánicas del terreno, logrando una economía de materiales tangible que se tradujo en una reducción de la cuantía de acero del 11.71% en vigas y del 12.37% en muros de concreto armado. de acero de 11.71% para vigas y 12.37% para muros de concreto armado.

Olivo Cárdenas (2020), en su estudio (tesis) titulado "Influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento sísmico de un edificio de 10 pisos aplicando el software ETABS, Lima – 2020" tuvo como propósito analizar la afectación de la interacción suelo-estructura (ISE) en la respuesta sísmica de edificaciones altas. La investigación se centró en un modelo de diez niveles ubicado en Lima, donde se comparó el comportamiento estructural simulado en ETABS bajo dos condiciones: el análisis tradicional de base empotrada rígida y un modelo que introducía la flexibilidad del suelo a través de coeficientes de rigidez basados en sus propiedades geotécnicas. La evaluación de parámetros clave como desplazamientos, periodos de vibración y fuerzas cortantes demostró que la inclusión de la flexibilidad del suelo provoca un incremento significativo en los desplazamientos y una mayor variación en los periodos respecto al modelo rígido. Además, se constató que la rigidez del terreno impacta directamente en la distribución de las fuerzas cortantes en la estructura. El estudio concluyó que la consideración de la ISE es crucial para obtener predicciones precisas del desempeño sísmico, alertando que su omisión puede resultar en la subestimación de las demandas sísmicas reales y comprometer la seguridad estructural de la edificación.

Lazo (2022), en su tesis "Comparación técnica-económica de una edificación con empotramiento rígido e interacción suelo-estructura en la ciudad de Arequipa", tiene como finalidad determinar la diferencia técnica-económica entre una edificación con empotramiento rígido e interacción suelo-estructura en la ciudad de Arequipa la metodología empleada es del tipo aplicada con un enfoque cuantitativo con un diseño de investigación descriptivo-explicativo. La muestra de la investigación es una vivienda multifamiliar de 10 niveles en el distrito de Cayma, provincia de Arequipa, teniendo como resultado que el presupuesto económico para la estructura con comportamiento rígido, el monto del presupuesto incluyendo IGV la suma de S/.1,935,701.18 (Un millón novecientos treinta y cinco mil setecientos uno con 18/100) por contrario la estructura con interacción suelo-estructura su presupuesto es de S/. 1,820,573.82 (Un millón ochocientos veinte mil quinientos setenta y tres con 82/100) teniendo una diferencia del 6 % del monto original de esta manera se determina también el costo por

m² para la estructura con comportamiento rígido el costo por m² es de S/ 605.26 y para la estructura con interacción suelo-estructura el costo por m² es de S/ 559.26 ,teniendo una diferencia de S/ 36 soles ,el autor concluye efectivamente se comprobó la diferencia técnica entre ambos modelos y se corrobora la diferencia económica de la estructura

3.1.3 A nivel regional y local

No se encontraron antecedentes locales ni estudios iguales o similares al tema de investigación en los repositorios de las dos universidades que ofrecen la carrera de Ingeniería Civil en la región (UNAMBA y UTEA), a pesar de haber realizado una búsqueda exhaustiva.

3.2. Bases teóricas

3.2.1 Interacción Suelo-Estructura

La interacción suelo-estructura (ISE) es un fenómeno bidireccional que relaciona una dependencia mutua entre el comportamiento dinámico del sistema estructural y la respuesta del terreno. Avilés y Pérez-Rocha (2004) indican que la interacción tiene como origen en la flexibilidad del suelo, realizando una modificación de las propiedades dinámicas de la edificación como lo es su rigidez traslacional y rotacional, amortiguamiento y periodo fundamental de vibración. En este sentido, Wolf (1985) destaca que omitir la ISE en el proceso de análisis estructural puede ser riesgoso ,puesto que subestima las fuerzas internas y los desplazamientos reales que experimenta la construcción, lo que podría poner en peligro inminente la seguridad y la integridad del edificio durante la actividad sísmica.

3.2.1.1 Interacción cinemática

El fenómeno de la interacción cinemática se establece como el mecanismo por el cual el movimiento sísmico registrado en condiciones de campo libre experimenta una modificación en sus propiedades espectrales, inducida por la presencia, rigidez y profundidad de empotramiento de la cimentación. Esta modificación se produce debido a la activación de la respuesta inercial de la superestructura. Dicha acción puede conceptualizarse como un proceso de filtrado dinámico ejercido por la cimentación, lo que origina un Movimiento de

Entrada a la Cimentación (FIM) distinto al registrado en el terreno no perturbado. Frecuentemente, esta modificación se traduce en una disminución de las ordenadas espectrales correspondientes a las altas frecuencias, un efecto atribuible directamente a la integración espacial del movimiento sobre el área de la base. (Kausel,2010)

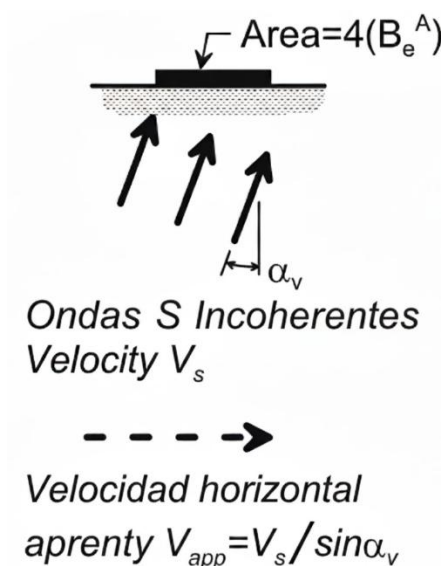
3.2.1.1.1 Efecto de coherencia de Ondas

El fenómeno de la incoherencia de ondas, referido como el efecto de promediación en la losa de cimentación (base slab averaging), emerge de la rigidez y resistencia del sistema de cimentación. Puesto que las ondas sísmicas de entrada son inherentemente variables en el espacio, su propagación produce una variación en la fase y la amplitud al alcanzar distintos puntos bajo la huella de la estructura (Ancheta et al., 2011). La rigidez del elemento de cimentación actúa entonces promediando estas variaciones, lo que resulta en un movimiento de la cimentación con una intensidad inferior a los picos que se hubieran registrado en el campo libre (free-field).

Este efecto de promedio espacial se manifiesta en cualquier edificación soportada por losas de cimentación o sistemas interconectados lateralmente a través de vigas de riostra. Además, se observa en el primer nivel si la estructura superior cuenta con un diafragma rígido, incluso sin una cimentación superficial rígida interconectada. Los movimientos modificados por la incoherencia de ondas y la propagación de las mismas se conocen como el efecto de paso de onda (wave passage effect) (Newmark, 1969; Ancheta et al., 2011). Consecuentemente, el único escenario en el que la influencia de la interacción cinemática puede ser descartada es en ausencia de cimentaciones superficiales interconectadas o en el caso de diafragmas de entrepiso flexibles. El efecto de embebido es considerado relevante únicamente en la existencia de sótanos (FEMA, 440).

Figura 1

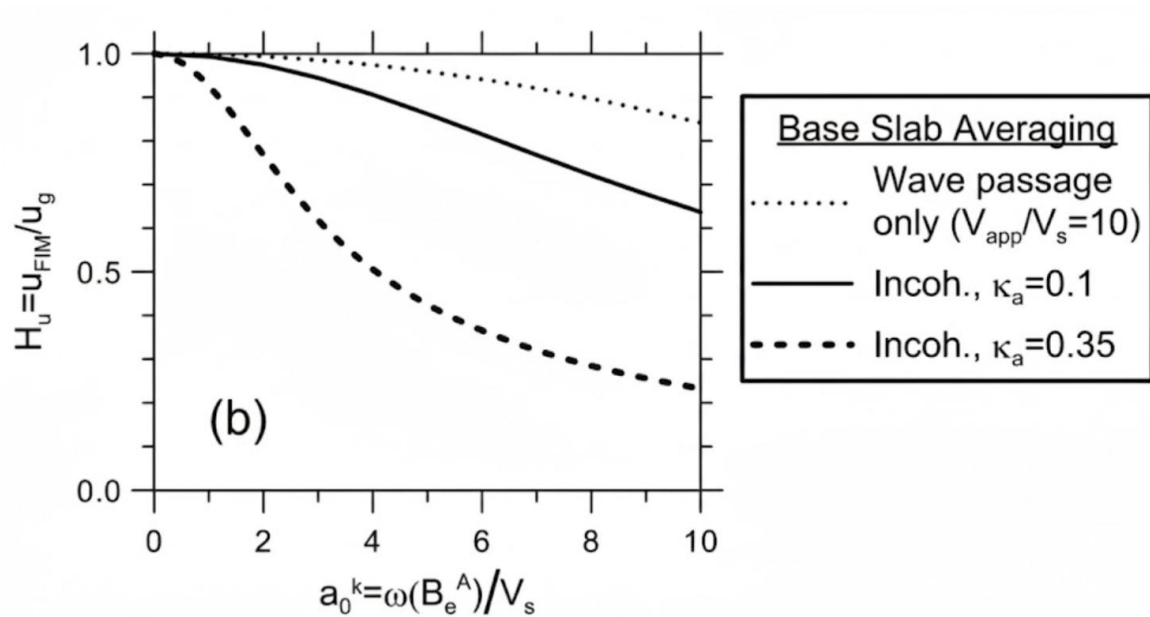
Cimentación sujeta a ondas de corte inclinadas



Nota: Esta figura muestra una platea cimentación sometida a fuerzas inclinadas producidas por ondas de sismos.

Figura 2

Funciones de transferencia en campo libre



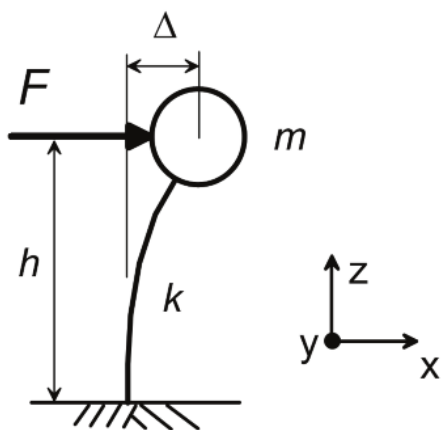
Nota. Funciones de transferencia entre el movimiento FIM y el movimiento en campo libre para el paso de ondas utilizando un método semi empírico para ondas.

3.2.1.2 Efectos Inerciales

El fenómeno de la interacción inercial se fundamenta en la transferencia de solicitaciones dinámicas desde la superestructura hacia el medio de apoyo durante una excitación sísmica. Estas fuerzas, principalmente el esfuerzo cortante basal y el momento de volteo, son resultado directo de la inercia que posee la masa de la edificación. Al ser aplicadas en la interfaz cimentación-suelo, dichas cargas inducen movimientos de traslación y rotación en el nivel de apoyo. La consecuencia de estos desplazamientos inducidos por la inercia es doble: actúan como un mecanismo que incrementa la flexibilidad efectiva del sistema estructural y desempeñan un papel primordial en la disipación energética global del conjunto suelo-cimentación-estructura. (NEHRP Consultants Joint Venture, 2012).

Figura 3

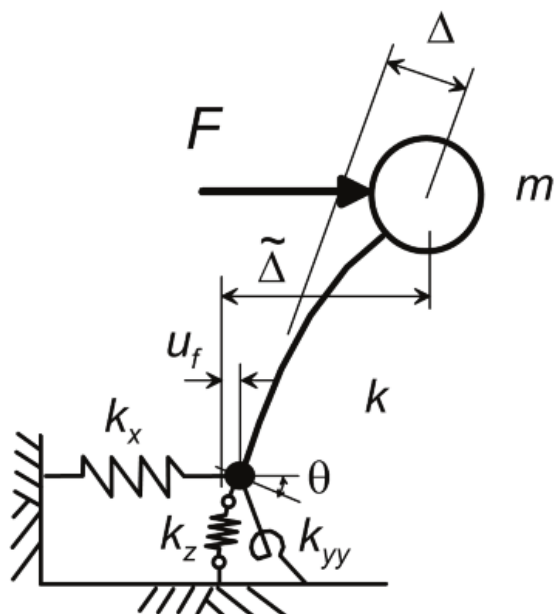
Esquema de un modelo empotrado de un grado de libertad



Nota. Esta figura representa un modelo empotrado de un grado de libertad siendo desplazado por una fuerza F producida por un sismo, el cual genera un desplazamiento.

Figura 4

Esquema de un modelo flexible de un grado de libertad



Nota. Esta figura representa un modelo flexible de un grado de libertad, las cuales tienen diferentes valores de rigideces traslacionales y rotacionales de su cimentación.

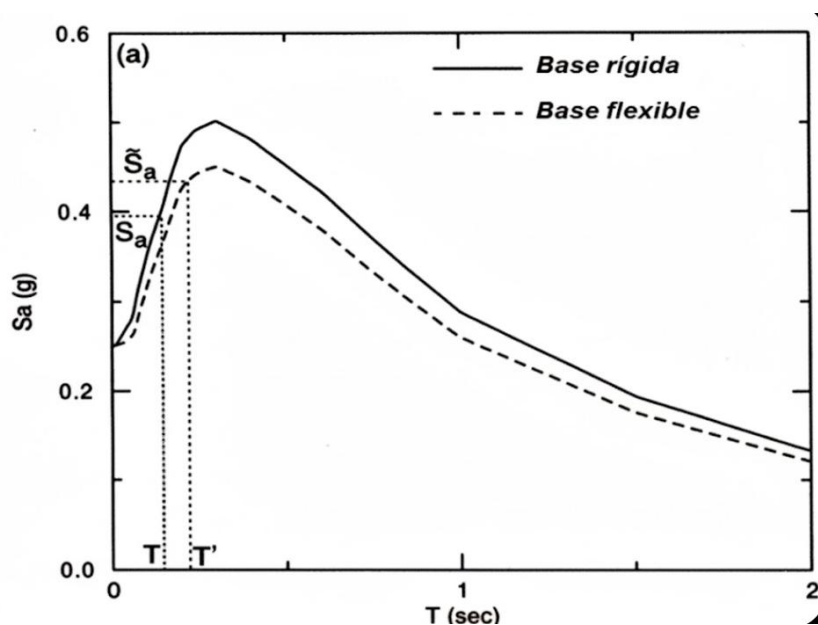
3.2.1.3 Deformabilidad del Suelo

La deformación del suelo ante sollicitaciones dinámicas debe conceptualizarse como la modificación intrínseca de sus características de rigidez y amortiguamiento, un proceso que ocurre en el medio geológico cuando es sometido a esfuerzos cíclicos. En contraste con las simplificaciones de los modelos elásticos lineales, es crucial entender la mecánica del suelo son inherentemente dependientes de la magnitud de la distorsión cíclica inducida por la carga sísmica. Al producirse un incremento en los niveles de deformación cortante, el módulo de corte secante experimenta una reducción progresiva, mientras que la razón de amortiguamiento material muestra un aumento simultáneo. Esta naturaleza marcadamente no lineal es un factor determinante, ya que su incidencia directa en la respuesta de la cimentación condiciona la interacción suelo-estructura, lo que exige la implementación de metodologías

iterativas capaces de actualizar las propiedades dinámicas del suelo en función del estado de deformación alcanzado (Lu et al., 2020).

Figura 4

Espectro de pseudo-aceleración de una base rígida y flexible



Nota. Las aceleraciones y los periodos de una estructura varían de acuerdo al tipo de cimentación idealizada (Rígida o flexible).

3.2.1.4 Rigidez de la Estructura

Corresponde a la capacidad de la edificación para resistir deformaciones durante un sismo, y está directamente relacionada con la flexibilidad del suelo y el tipo de cimentación utilizada (Chopra, 2012).

3.2.2 Comportamiento Sísmico de la Estructura

El comportamiento sísmico de una edificación se refiere a su respuesta ante las acciones sísmicas, considerando parámetros como desplazamientos, derivas, esfuerzos internos y modos de vibración. Bertero (1997) sostiene que la interacción entre el suelo, la cimentación y la estructura es un factor determinante en la estabilidad de una edificación

durante un sismo. Rodríguez (2001) destaca que para una evaluación precisa del comportamiento sísmico se requiere analizar la rigidez lateral de la estructura, el amortiguamiento y la disipación de energía entre otros factores que pueden tener influencia directa en la resistencia de la edificación ante cargas sísmicas.

3.2.2.1 Desplazamientos Laterales: Vienen a representar los movimientos horizontales que presenta la estructura una edificación durante un sismo y dependen de la rigidez lateral que a su vez están dadas por las columnas y vigas en gran porcentaje de la estructura y sus características físico mecánicas del suelo (Rodríguez, 2001).

3.2.2.2 Derivas de Piso: El Desplazamiento entre niveles consecutivos de la estructura, es un indicador clave para evaluar los desplazamientos y las deformaciones que a su vez repercutirán en el desempeño estructural ante eventos sísmicos (Bertero, 1997).

3.2.2.3 Fuerzas Internas: Los esfuerzos inducidos en los elementos estructurales debido a al soporte de cargas por gravedad o sino generan esfuerzos internos como compresión, tracción, corte, y su análisis es clave para determinar la resistencia y capacidad estructural de la edificación (Chopra, 2012).

3.2.2.4 Modos de Vibración: Estos son forma de movimientos que una estructura presenta ante un sismo, estos modos son influenciados de acuerdo a la la geometría, la configuración y ubicación de los elementos estructurales y la interacción con el suelo (Mylonakis & Gazetas, 2000).

3.3. Definición de términos

- Zapatas aisladas, según Yepes (2020), son cimentaciones superficiales que soportan cargas concentradas y momentos flectores en ambas direcciones generalmente de columnas o placas. Estas cimentaciones se utilizan en terrenos firmes y competentes, distribuyendo esfuerzos moderados para evitar asentamientos diferenciales.

- Zapatas combinadas, soportan dos o más columnas y se emplean cuando las dimensiones de zapatas aisladas se superponen o están muy próximas, lo que puede dificultar los procesos de excavación. Además, permiten uniformizar los asentamientos del terreno (Yepes, 2020).
- Modelo dinámico de Winkler plantea que la presión en un punto de la interfaz cimentación-suelo es proporcional a la deflexión en ese mismo punto, a través de un coeficiente denominado módulo de reacción del suelo (Mejía, 2017).
- Interacción suelo-estructura, según Villarreal (2009), El fenómeno de la interacción suelo-estructura (ISE) tiene lugar precisamente en la interfase de contacto entre la cimentación de la edificación y el terreno de fundación cuando el sistema es sometido a cargas sísmicas. Este proceso es crucial porque ejerce una influencia directa en la rigidez global y, consecuentemente, modifica la respuesta dinámica de la estructura.
- Rigidez del suelo de fundación, la rigidez del suelo se define como su capacidad para resistir y amortiguar esfuerzos de compresión y desplazamiento en condiciones elásticas uniformes y no uniformes (Villarreal, 2009).
- Distorsión de la estructura: según la Norma Técnica Peruana NTE E.030 (2018), la distorsión de la estructura ante fuerzas laterales se determina mediante la relación entre el desplazamiento neto entre entrepisos y la altura del entrepiso, multiplicado por el factor de reducción sísmica.
- Hormigón Armado: El hormigón armado es un material estructural compuesto por hormigón y barras de acero de refuerzo, lo que le permite resistir tanto esfuerzos de compresión como de tracción, mejorando la ductilidad y capacidad portante de la estructura (Calavera, 2013).
- Cimentación Profunda: Las cimentaciones profundas son sistemas estructurales que transmiten cargas a estratos profundos del suelo, utilizados en terrenos de baja capacidad portante o cuando la estructura requiere soportar grandes cargas (Das & Sobhan, 2017).

- Esfuerzo Cortante: Es una fuerza interna que presenta un elemento estructural al someterse a fuerzas tangencialmente sobre su sección transversal, provocando deslizamientos entre sus partículas de área de contacto. Este esfuerzo es fundamental en el diseño de vigas y placas estructurales (Beer, Johnston, DeWolf, & Mazurek, 2013).
- Módulo de Elasticidad: El módulo de elasticidad de un material se describe por su capacidad para deformarse de manera reversible e irreversible ante la aplicación de una carga en un sentido. Este es un parámetro fundamental para el diseño en la mecánica de materiales y en el diseño estructural (Gere & Timoshenko, 1997).
- Análisis Estructural: Es un proceso numérico mediante el cual se determinan los efectos de las cargas en una estructura lo que provoca esfuerzos internos en sus elementos resistentes, se utiliza para evaluar la estabilidad, seguridad y eficiencia de una estructura. Este procedimiento se lleva a cabo mediante métodos matemáticos y simulaciones computacionales (Hibbeler, 2011).
- Coeficiente de Poisson: Es un parámetro estructural que mide la relación entre la deformación lateral y la deformación axial en un material sometido a una carga, dichos valores indica si el cuerpo de expande o presenta contracción perpendicularmente a la dirección del esfuerzo principal (Ashby & Jones, 2012).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

La metodología de esta investigación es de naturaleza aplicado, debido a que tiene por objetivo proporcionar soluciones prácticas a un problema identificada en el ámbito real. Según Guevara Albán (2020), el objetivo principal de una investigación aplicado busca resolver un problema en un corto periodo de tiempo, orientada a la implementación inmediata mediante acciones concretas" (p. 118). En la presente investigación, se emplearán conceptos de la interacción suelo estructura definidas en las normas ASCE/SEI 41-17 para analizar y proporcionar soluciones estructurales, alineándose con las hipótesis planteadas.

Respecto al nivel de investigación, es del tipo descriptivo, debido a que describe en detallar características y comportamientos del objeto a estudiar. Guevara Albán (2020) señala que la investigación descriptiva tiene como finalidad dar alcance de algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utilizando criterios sistemáticos que permiten establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio" (p. 118). En este caso, se describirá cómo la variable interacción suelo-estructura influye en la variable comportamiento sísmico del Palacio Municipal del distrito de Abancay.

El método adoptado es el deductivo, partimos primeramente de hipótesis generales para llegar a conclusiones específicas. Guevara Albán (2020) presenta que este método consiste en determinar las características de un problema a través de la deducción, partiendo de proposiciones generales" (p. 118). Con el enfoque elegido, se analizarán los principios teóricos de la interacción suelo-estructura para prever su impacto en la estructura mencionada.

La investigación se acomoda al enfoque cuantitativo debido a que basa su metodología en la recolección y el procesamiento de información numérica para derivar conclusiones que son objetivas. Este procedimiento resulta esencial, ya que permite realizar la medición precisa de las variables de interés y establece las correlaciones entre ellas, lo que garantiza una comprensión pormenorizada del fenómeno analizado

El cuanto al diseño metodológico utilizado para la investigación es no experimental, debido que no se ejercerá ninguna manipulación deliberada sobre las variables independientes. Como señala Guevara Albán (2020, p. 118), este tipo de diseño implica observar el fenómeno en su entorno para analizarlo después de acuerdo a su naturaleza. Por lo tanto, el estudio se centrara en evaluar el comportamiento sísmico de la estructura del palacio municipal sin modificar las dimensiones y demás propiedades que presenta la edificación al momento de ser construida, lo que nos llevara a obtener resultados auténticos

y fidedigna de su desempeño cuando se encuentra bajo la influencia de la interacción suelo-estructura.

4.2. Ámbito temporal y espacial

El presente estudio se desarrolla en el departamento de Apurímac, provincia de Abancay, distrito de Abancay, el cual corresponde a la ubicación de la infraestructura del Nuevo Palacio Municipal. La edificación fue seleccionada como unidad de estudio de análisis debido a la importancia que esta tiene al ser una infraestructura pública que juega un papel crucial en la ciudad. La zona de estudio se presenta en los últimos años moderada actividad sísmica, lo que justifica la necesidad de evaluar el impacto de la interacción suelo-estructura en su comportamiento sísmico.

En cuanto al ámbito temporal, la investigación se desarrolló en los siguiente período de tiempo 2023-2025 por motivos de obtención de la documentación original del proyecto, en el transcurso de utilizado el tiempo para realizar la recopilación de información del expediente técnicos seguidamente la realización del modelado estructural y el análisis de datos. De acuerdo con Tamayo y Tamayo (2021), el ámbito temporal de una investigación "delimita el periodo en el que se desarrolla el estudio, estableciendo los límites cronológicos que determinan la recolección y análisis de información" (p. 112). En este contexto, el estudio contempla un análisis retrospectivo y prospectivo de la edificación, considerando tanto el diseño estructural original como la inclusión de la interacción suelo-estructura en los modelos de simulación. Este enfoque espacial permite claramente establecer los límites de la investigación y garantiza que los resultados sean aplicables al contexto real del Palacio Municipal de Abancay, contribuyendo a la mejora de su seguridad estructural.

4.3. Población muestra y muestreo

4.3.1 Población

La población de esta investigación está conformada por los dos bloques estructurales que integran el Palacio Municipal del distrito de Abancay, en el departamento de Apurímac. Según Silvestre et al (2024), la población se define como el "conjunto de elementos llamados unidades de análisis, que pueden ser personas, objetos, organizaciones o sucesos dentro de un ámbito específico" (p. 336)

. En este caso, la población estudiada corresponde a los bloques que componen la edificación, los cuales serán evaluados para analizar su comportamiento sísmico al considerar la ISE.

4.3.2 Muestra

La muestra seleccionada es el Bloque B del Palacio Municipal, utilizando como metodología un muestreo no probabilístico por conveniencia. Este bloque fue elegido a razón de contar la información documentaria completa, incluyendo planos arquitectónicos, estudios de suelos, memorias descriptivas, hojas de cálculo. En términos metodológico, una muestra es comprende como la relación entre un "subconjunto representativo de la población que se selecciona mediante diversos métodos" (Silvestre et al., 2024, p. 337)

4.3.3 Muestreo

El tipo de muestreo empleado para la presente investigación es del tipo no probabilístico por conveniencia, lo que significa que en estos casos la selección de la muestra se basa en criterios de accesibilidad y disponibilidad de datos. De acuerdo con Silvestre et al. (2024), este tipo de muestreo "se utiliza cuando el investigador elige la muestra en función de la accesibilidad y la facilidad de recolección de datos, aunque ello implique una menor generalización de los resultados" (p. 337).

4.4. Instrumentos

Según Silvestre et al. (2024), los instrumentos de investigación son "recursos físicos utilizado por los investigadores para obtener información sistemática sobre las variables en estudio" (p. 215). Estos instrumentos deben ser tanto legales y confiables para garantizar la precisión y validez de los resultados obtenidos.

En este estudio, los instrumentos que fueron utilizados para la respectiva recopilación de datos y análisis en la evaluación de la interacción suelo-estructura incluyen:

Planos arquitectónicos los cuales fueron usados para el modelamiento estructural

Planos estructurales, sirvieron para extraer datos de las propiedades de los componentes estructurales del edificio

Revisión de normas técnicas como la E030 del reglamento nacional de edificaciones del Perú y normativa internacional como la ASCE/SEI 41-17

- Uso del Software (ETABS), para el análisis y diseño considerando propiedades mecánicas originales del edificio y del suelo ,con ellos se obtuvo resultados numéricos.

- Estudios de prospección y mecánica de suelo ,para la infentficacion de perfil de suelo y propiedades dinámicas del suelo de apoyo para la cimentación de la edificación de estudio.

Como técnica de estudio se utilizó la observación directa, comparando los datos y resultados del ISE del Palacio Municipal de Abancay mediante un enfoque convencional y otro que incorpora la interacción suelo-estructura.

A su vez, se aplicó la revisión y análisis de literatura referidas al tema en investigación, recopilando información del expediente técnico para la modelación estructural. Se revisaron normas peruanas vigentes para el diseño estructural, así como normas americanas como la ASCE/SEI 41-17 y el estudio de mecánica de suelos, asegurando la precisión en la interpretación y aplicación de los datos obtenidos.

4.5. Procedimiento

Realizar el modelamiento estructural convencional y utilizando interacción suelo estructura, se buscará evaluar el comportamiento sísmico de la estructura, Para ello, se realizará un cuadro comparativo, observando el aumento o disminución de las propiedades estructurales en términos porcentuales.

Para el análisis estadístico, se emplearán parámetros estadísticos que permitan contrastar la hipótesis. Silvestre et al. (2024) destacan que "un análisis estadístico nos permite cuantificar los efectos de las variables estudiadas, facilitando la validación de hipótesis en investigaciones descriptivas" (p. 248). Debido a que el presente estudio corresponde a un nivel descriptivo, se concentrara en analizar y caracterizar la respuesta sísmica del Palacio Municipal del distrito de Abancay bajo la interacción suelo-estructura, no se realizara la manipulación de variables independientes.

4.6. Análisis de datos

El análisis de datos es una parte esencial en un proceso de investigación, lo que nos permite interpretar la información recopilada y extraer conclusiones necesarias sobre la problemática de la investigación. Según Hernández, Fernández y Baptista (2020), este proceso implica la "aplicación de técnicas estadísticas o de procesamiento cualitativo para responder a las preguntas de investigación y probar las hipótesis" (p. 123).

En la presente investigación, los datos se analizarán con un enfoque cuantitativo, debido a que se busca "medir y analizar numéricamente las variables de interés" (Hernández et al., 2020, p. 45). El procedimiento a seguir comprende las siguientes etapas:

La preparación y orden de los datos consistirá en la revisión y clasificación de la información obtenida a partir de documentación del edificio a estudiar, asegurando su

integridad y coherencia. Esto incluye la codificación de las respuestas y la creación de una base de datos estructurada.

4.7. Consideraciones éticas.

La presente investigación se desarrolló cumpliendo con los valores éticos promovidos por la universidad, necesarios para garantizar la integridad del proyecto y alcanzar los objetivos planteados. Todos los autores mencionados o cuyas obras fueron utilizadas han sido debidamente citados, respetando así sus aportes y evitando el plagio. Según Orozco y Lamberto (2022), la ética en la investigación científica implica regular la conducta del investigador, asegurando el respeto por los derechos de autor y la originalidad en el trabajo académico.

Los datos proporcionados no son manipulado a favor del investigador; todo este proceso se llevó a cabo con los datos obtenidos de la edificación en estudio. La responsabilidad y transparencia en la recolección y análisis de datos son fundamentales para mantener la confianza en los resultados de la investigación (Espinoza, 2019).

El actual estudio de investigación se elaboró conforme al cronograma de actividades planteado. Asimismo, se utilizaron instrumentos y se consultaron normas técnicas pertinentes, cumpliendo fielmente con estos para obtener datos fidedignos. La adherencia a protocolos establecidos y la consulta de normativas vigentes son esenciales para asegurar la validez y confiabilidad de los hallazgos científicos (Espinoza, 2019).

V. Resultados y discusión

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir del análisis sísmico del Palacio Municipal de Abancay, considerando (ISE) y comparándolos con un análisis convencional que no considera este efecto. Para ello, se realizó un análisis dinámico modal espectral, siguiendo los lineamientos de la ASCE 7-16, la NTE E.030 – Diseño Sismorresistente y el ASCE/SEI 41-17.

Los resultados se organizan en función de los siguientes aspectos:

- a. Comparación de los espectros de diseño con y sin interacción suelo-estructura.
- b. Evaluación de los periodos de vibración obtenidos mediante análisis modal.
- c. Análisis de los desplazamientos máximos por piso en ambas condiciones.

Los datos obtenidos permiten interpretar la influencia de la interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica del edificio y evaluar su impacto en la seguridad estructural.

5.1. Espectro de Diseño

Para la comparación de los espectros de diseño, se consideraron los parámetros sísmicos específicos del Palacio Municipal de Abancay, incluyendo zona sísmica, importancia de la edificación, coeficiente de amplificación sísmica y perfil del suelo. Además, en el caso del análisis con ISE, se incorporó el factor de amortiguamiento modificado que toma en cuenta la flexibilidad de la cimentación y las propiedades dinámicas del suelo.

Tabla 1.

Variación del espectro de diseño con y sin interacción suelo-estructura

T	SIN ISE	CON ISE	VARIACIÓN
0	0.121875	0.10988284	9.84%
0.1	0.121875	0.10988284	9.84%
0.2	0.121875	0.10988284	9.84%

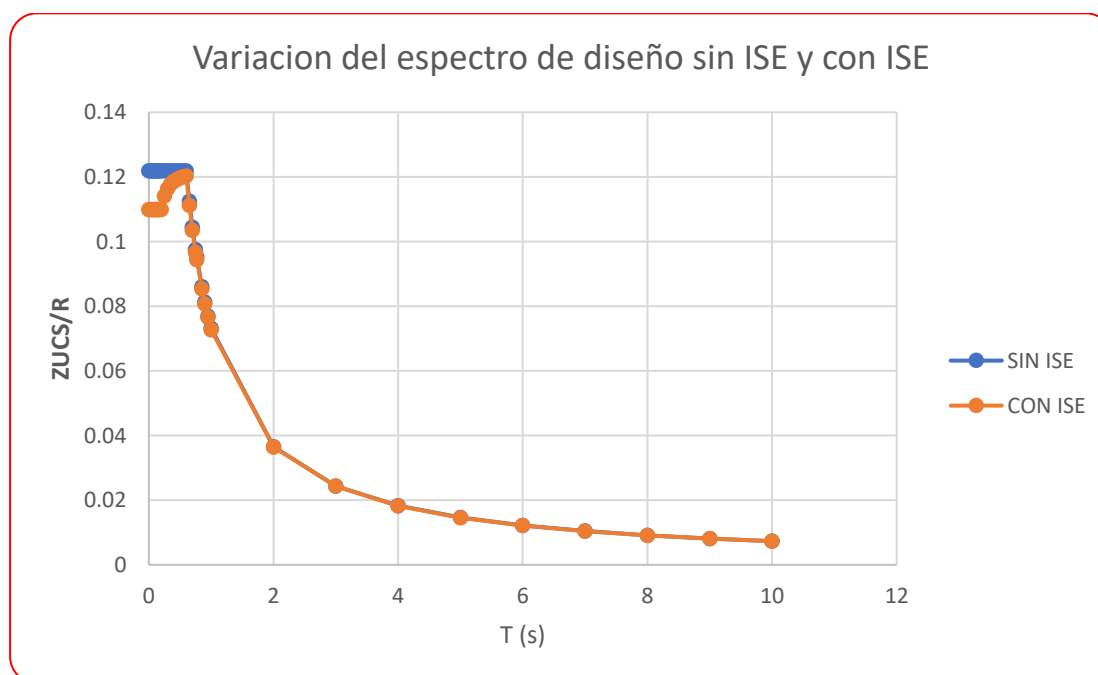
0.5	0.121875	0.11971197	1.77%
0.55	0.121875	0.12004755	1.50%
1	0.073125	0.0727003	0.58%
5	0.014625	0.01459627	0.20%
10	0.0073125	0.00729902	0.18%

Nota: En esta tabla se muestra los resultados de la variación de los periodos de vibración aplicando la interacción suelo-estructura.

Los resultados muestran que, para periodos menores a 0.2 s, el espectro con ISE presenta una reducción máxima del 9.84 %, lo que implica una menor demanda sísmica en comparación con el análisis sin interacción suelo-estructura. A medida que el período aumenta, esta variación se reduce progresivamente hasta alcanzar valores similares entre ambos espectros.

Figura 6.

Comparación del espectro de diseño con y sin interacción suelo-estructura



Nota. Esta figura muestra el espectro de diseño considerando parámetros geotécnicos que someten el cambio del espectro de diseño de la estructura a evaluar al considerar interacción suelo estructura.

5.2. Periodos de Vibración

El análisis modal se realizó considerando 30 modos de vibración, siguiendo la normativa NTE E.030 – Diseño Sismorresistente, la cual establece que el porcentaje de participación de la masa total del edificio debe ser mínimamente del 90% para garantizar un análisis modal preciso.

Tabla 2.

Variación de los valores de masas en los modos de vibración con y sin Interacción Suelo-Estructura

Modo	Periodo(s) con ISE	Periodo (s) sin ISE	Variación
1	0.652	0.647	0.77%
2	0.647	0.639	1.24%
3	0.556	0.554	0.36%
11	0.055	0.054	1.82%

Nota. Esta tabla muestra los modos de vibración mas predominantes de la estructura y su variación utilizando interacción suelo estructura.

Los resultados indican que la variación en los períodos de vibración es mínima, con valores que oscilan entre 0.00 % y 1.82 %. Esto se debe a que el suelo de fundación es rígido y la cimentación empleada es una platea de cimentación altamente rígida, lo que reduce la incidencia de la interacción suelo-estructura en la flexibilidad global de la estructura.

5.3. Desplazamientos Máximos por Piso

Se compararon los desplazamientos máximos en ambas direcciones (UX y UY) para los diferentes niveles del edificio, evaluando las diferencias entre el análisis sin interacción suelo-estructura (sin ISE) y el análisis con interacción suelo-estructura (con ISE).

Tabla 3

Variación de los Desplazamientos Máximos con y sin Interacción Suelo-Estructura

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS CON ISE Y SIN ISE						
PISO	CON ISE		SIN ISE		Variación	
	UX	UY	UX	UY	UX	UY
	mm	mm	mm	mm	Porcentaje	
PISO-5	95.442	91.369	95.507	91.371	0.07%	0.00%
PISO-4	84.574	83.022	84.96	83.504	0.46%	0.58%
PISO-3	70.632	71.62	71.117	72.156	0.69%	0.75%
PISO-2	53.375	56.022	53.855	56.52	0.90%	0.89%
PISO-1	34.375	37.875	34.686	38.236	0.90%	0.95%
SEMISÓTANO	19.724	23.395	19.91	23.656	0.94%	1.12%
SÓTANO	5.917	7.645	5.954	7.731	0.63%	1.12%

Nota. Esta tabla muestra los desplazamientos en las direcciones X y Y de la estructura en estudio considerando y sin considerar interacción suelo estructura

Los resultados muestran que la variación en los desplazamientos es mínima. La máxima variación en la dirección UX es 0.94 %, mientras que en la dirección UY alcanza un 1.12 %. Esto confirma que, debido a la rigidez del suelo de fundación y el tipo de cimentación utilizada (platea de cimentación rígida), la interacción suelo-estructura tiene un impacto limitado en los desplazamientos de la edificación.

Discusiones

Para la interpretación de los datos generados, se procede a efectuar una contrastación sistemática entre los hallazgos propios y los antecedentes investigativos disponibles en el ámbito nacional e internacional. Esta evaluación comparativa tiene como propósito fundamental dimensionar la incidencia real de la interacción suelo-estructura (ISE) en la respuesta sísmica de edificaciones y validar la importancia de su consideración en el diseño estructural.

La presente investigación ha determinado que la interacción suelo-estructura tiene un impacto moderado en la respuesta sísmica del Palacio Municipal de Abancay, debido a la alta rigidez del suelo de fundación y del sistema de cimentación. Este hallazgo es similar al reportado por Acuña y Molina (2023), quienes analizaron una edificación de 5 pisos sobre suelo blando en Montería, Colombia, y encontraron que la interacción suelo-estructura generó un incremento del 34 % en los períodos de vibración y una variación del 0.5 % en el cortante basal, así como un aumento del 1 % en las derivas máximas de entrepiso. En contraste, en el presente estudio, la variación en los períodos de vibración es significativamente menor (1.82 % máximo), lo que se explica por la diferencia en las condiciones del suelo. Mientras que el estudio de Acuña y Molina evaluó una edificación sobre arcilla blanda, en este caso se analizó una estructura cimentada sobre un suelo más rígido, lo que disminuye el impacto de la interacción suelo-estructura.

Por otro lado, López et al. (2022), compararon el diseño estructural de dos edificaciones de 6 niveles, una con cimentación empotrada y otra con cimentación flexible, encontrando que la flexibilidad del suelo generó incrementos en los períodos de vibración entre 7 % y 25 %, variaciones en las derivas de entre 1 % y 14 % y una reducción del 20 % en el cortante basal. Comparando estos resultados con el presente estudio, se observa que, en la edificación analizada, los períodos de vibración presentan variaciones menores al 2 %, mientras que las derivas solo experimentan cambios del 1.12 % en la dirección más desfavorable. La diferencia en los resultados puede atribuirse a la tipología de la cimentación,

ya que el Palacio Municipal de Abancay cuenta con una platea de cimentación rígida, lo que minimiza la influencia del suelo en la respuesta sísmica, en contraste con los modelos analizados por López et al., que utilizaron zapatas aisladas y suelos más flexibles.

En el contexto nacional, Alvarado y García (2021), evaluaron la influencia de la interacción suelo-estructura en tres edificaciones de concreto armado en Lima, empleando distintos perfiles de suelo. Sus resultados mostraron que, al emplear la norma rusa, los períodos de vibración experimentaron variaciones de hasta 64.95 % en suelos flexibles y 30.58 % en suelos más rígidos. En comparación, en la presente investigación, los períodos de vibración mostraron variaciones máximas de solo 1.82 %, lo que indica que el suelo del Palacio Municipal de Abancay posee una capacidad portante superior a los suelos evaluados en Lima, lo que reduce el impacto de la interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica del edificio.

De manera similar, Flores y Mena (2021), analizaron una estructura aporricada de 4 pisos en Lima, comparando los modelos con y sin interacción suelo-estructura. Sus resultados mostraron que la inclusión de la interacción suelo-estructura generó aumentos en los períodos de vibración y desplazamientos, además de una disminución de las fuerzas axiales y un incremento en los momentos flectores y fuerzas cortantes. En el presente estudio, aunque los desplazamientos sí experimentaron variaciones, estas fueron mínimas (máximo 1.12 % en la dirección más desfavorable), lo que reafirma la conclusión de que el tipo de cimentación y la rigidez del suelo son factores determinantes en la magnitud del impacto de la interacción suelo-estructura.

VI. Conclusiones

Conclusión objetivo general.

El comportamiento sísmico del nuevo del nuevo Palacio Municipal de Abancay al considerar el (ISE). presenta una influencia moderada en los resultados originales considerando el análisis tradicional con empotramiento perfecto, los resultados muestran que este fenómeno tiene una influencia moderada en la respuesta estructural. En términos de demanda sísmica, se observó una reducción de hasta 9.84 % en los períodos cortos del espectro de diseño, mientras que en períodos largos la variación es prácticamente nula. Asimismo, los períodos de vibración y los desplazamientos máximos por piso presentaron diferencias mínimas entre el análisis con y sin ISE, lo que sugiere que las características de la subestructura y del suelo de fundación reduce significativamente el impacto de este fenómeno.

Conclusión objetivo específico “a”

Se determino el espectro de diseño del Palacio Municipal de Abancay considerando la interacción suelo-estructura, evidenciando que, para períodos inferiores a 0.2 s, la demanda sísmica disminuye hasta en 9.84 % en comparación con el análisis sin ISE. Sin embargo, conforme el período aumenta, la diferencia entre ambos espectros se reduce progresivamente hasta ser insignificante. Esto indica que el presente análisis tiene un impacto considerable en la demanda sísmica de períodos cortos, pero en períodos largos su influencia es despreciable.

Conclusión objetivo específico “b”.

Se obtuvo que los períodos de vibración modales obtenidos en el análisis modal con ISE presentan una variación máxima de 1.82 % respecto al análisis sin ISE. Esta diferencia mínima indica que la rigidez del suelo de fundación y la cimentación tipo platea utilizada en la edificación contribuyen a reducir los efectos del ISE en la flexibilidad global de la estructura. Adicionalmente, se verificó que los primeros 30 modos de vibración acumulan más del 90 % de la masa total de la estructura, cumpliendo con los requisitos establecidos en la NTE E.030 - Diseño Sismorresistente para un análisis modal confiable.

Conclusión objetivo específico “c”.

Se calculo los desplazamientos máximos por piso, se evidenció que la variación entre los valores obtenidos con y sin ISE es menor al 1.12 % en la dirección más desfavorable. Esta diferencia mínima confirma que las características de la subestructura permiten que la estructura mantenga prácticamente la misma respuesta sísmica en ambos casos. Además, se verificó que la estructura cumple con los límites normativos para derivas máximas de entrepiso, lo que garantiza su estabilidad estructural y desempeño seguro ante eventos sísmicos.

VII. Recomendaciones

Dado que se ha determinado que el ISE tiene una influencia moderada en el comportamiento sísmico del Palacio Municipal de Abancay, se recomienda que en futuras investigaciones se realicen análisis considerando diferentes tipos de suelos y cimentaciones con menor rigidez. Esto permitirá evaluar en qué condiciones la interacción suelo-estructura puede llegar a tener un impacto más significativo en la respuesta sísmica de edificaciones de características similares. Además, se sugiere complementar estos estudios con ensayos geotécnicos más detallados para mejorar la precisión de los parámetros de interacción suelo-estructura utilizados en los modelos numéricos.

Considerando que el espectro de diseño del Palacio Municipal mostró una reducción de hasta 9.84 % en períodos cortos, pero no presentó variaciones significativas en períodos largos, se recomienda que los ingenieros estructurales tomen en cuenta este efecto en el diseño de edificaciones que posean períodos fundamentales bajos. Para edificaciones con estructuras flexibles y cimentaciones superficiales, se recomienda el uso de factores de modificación espectral ajustados al ISE, lo que contribuiría a mejorar la precisión en la estimación de las demandas sísmicas.

Considerando que los períodos de vibración en el análisis con ISE presentaron una variación máxima de 1.82 %, se emite la recomendación de que en edificaciones con cimentaciones rígidas superficiales, como la analizada en este estudio (losas de cimentación), la modelación estructural puede considerar la base empotrada sin afectar significativamente la precisión del análisis sísmico. Sin embargo, en edificaciones con suelos más flexibles o cimentaciones menos rígidas (zapatas aisladas), se sugiere realizar un análisis detallado del ISE para evitar subestimaciones en la respuesta estructural. Asimismo, se recomienda a los investigadores en el área que futuras investigaciones evalúen la aplicación de modelos avanzados de interacción suelo-estructura, como el método de elementos finitos tridimensionales, para mejorar la precisión en la simulación del comportamiento dinámico de la estructura.

Como el análisis de desplazamientos máximos por piso reveló variaciones menores al 1.12 %, se recomienda que en edificaciones con cimentaciones de alta rigidez, la influencia de la ISE puede ser despreciable en términos de desplazamientos y derivas de entrepiso. No obstante, en edificaciones ubicadas sobre suelos de menor capacidad portante, se recomienda evaluar su influencia en el diseño estructural y considerar refuerzos en la cimentación o ajustes en los coeficientes de derivas normativos. Adicionalmente, se sugiere la implementación de instrumentación sísmica en edificaciones reales para validar experimentalmente los efectos de la interacción suelo-estructura y mejorar la calibración de los modelos computacionales.

VIII. Referencias

- Arancibia, A. (2020). *Estudio del efecto de la interacción suelo-estructura en edificios bajos de albañilería*. [Tesis de postgrado, Universidad de Chile]. Repositorio institucional de la universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/177340>
- Ashby, M. F., & Jones, D. R. H. (2012). *Engineering Materials 1: An Introduction to Properties, Applications and Design* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Avilés, J., & Pérez-Rocha, L. E. (2004). Sobre Interacción Dinámica Suelo-Estructura. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 9(1), 1-35.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61807101>
- Avilés, J., & Pérez-Rocha, L. E. (2004). *Sobre interacción dinámica suelo-estructura*. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 9(1), 1-35.
<https://www.redalyc.org/pdf/618/61807101.pdf>
- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2013). *Mechanics of Materials* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- Chávez, C. J. E. (2021). Análisis de interacción suelo-estructura mediante un ensayo de pórtico a escala en una mesa vibratoria considerando un suelo típico de Quito.
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21574>
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering* (4th ed.). Pearson Education.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2017). *Principles of Geotechnical Engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Guevara Albán, G. P. (2020). Tipo de investigación y su aplicación en estudios descriptivos. *Revista recimundo*, 4(6), 118-134.
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7591592.pdf>

- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2020). Metodología de la investigación (7ª ed.). McGraw-Hill.
- Hibbeler, R. C. (2011). *Structural Analysis* (8th ed.). Prentice Hall.
- Mejía, L. (2017). *Modelo dinámico Winkler en cimentaciones superficiales*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú. (2018). *Norma Técnica Peruana NTE E.030: Diseño Sismorresistente*.
- Mylonakis, G., & Gazetas, G. (2000). *Seismic soil-structure interaction: Beneficial or detrimental?*. *Journal of Earthquake Engineering*, 4(3), 277-301.
- Orozco, H., & Lamberto, J. (2022). La ética en la investigación científica: consideraciones desde el área educativa. *Perspectivas: Revista de Historia, Geografía, Arte y Cultura*, 10(19), 11-21. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8859336.pdf>
- Rodríguez, M. E. (2001). Comportamiento de estructuras prefabricadas de concreto reforzado para edificaciones en zonas sísmicas, innovaciones y tendencias en su empleo. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (63), 1-34. <https://www.smis.mx/index.php/RIS/article/download/235/173>
- Sanchez, C. J. (2024). Facultad de ingeniería y arquitectura escuela profesional de ingeniería civil. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/147910>
- Silvestre, I., Palomino, C., Arévalo, J., & Soto, W. (2024). Pasos para elaborar la investigación y la redacción de la tesis universitaria. Editorial Académica.
- Tamayo y Tamayo, M. (2021). El proceso de la investigación científica (7.ª ed.). Limusa.
- Valle, V. G. R. (2021). *Análisis del comportamiento de la cimentación de una vivienda multifamiliar aplicando la interacción suelo - estructura en Chachapoyas*, [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo]2021. Repositorio Institucional de la universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/68334>

Villarreal, G. (2009). *Interacción suelo-estructura y rigidez del suelo en edificaciones sismorresistentes*. Instituto Mexicano de Ingeniería Civil.

Winkler, E. (1867). *Die Lehre von der Elasticität und Festigkeit*. H. Dominicus.

Wolf, J. P. (1985). *Dynamic Soil-Structure Interaction*. Prentice Hall.

Yepes, V. (2020). *Cimentaciones y estructuras de concreto*. Editorial UPV.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes