

Estado de la publicación: No informado por el autor que envía

# Evaluación de la Respuesta Sísmica de un Edificio Aporticado Considerando Interacción Suelo Estructura

Noelia Edith Falcon Nina

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.8016>

Enviado en: 2024-02-01

Postado en: 2024-02-29 (versión 1)

(AAAA-MM-DD)

## **Evaluación de la Respuesta Sísmica de un Edificio Aporticado Considerando Interacción Suelo Estructura**

### **Evaluation of the Seismic Response of a Porticoed Building Considering Soil-Structure Interaction**

### **Avaliação da Resposta Sísmica de um Edifício Pórtico Considerando a Interação Solo-Estrutura**

Falcon Nina, Noelia Edith

<https://orcid.org/0009-0005-4669-7442>

Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Cesar Vallejo, Perú

#### **RESUMEN**

En la presente investigación evalúa la respuesta sísmica de un edificio aporticado considerando los efectos de interacción suelo estructura mediante el modelo de la norma rusa SNIP 2.02.05-87 y medir la influencia respecto al modelo de base rígida; para ello de considero como muestra un edificio de 5 niveles de sistema estructural principalmente de pórticos de concreto armado con una cimentación de zapatas combinada asentado en un suelo S2. La metodología utilizada en el presente estudio de tipo aplicada, no experimental y descriptiva.

Entre los principales resultados encontrados se destaca el incremento de las distorsiones de entrepiso en un 11.56% en la dirección X, un incremento de hasta el 22.88% en la dirección Y; en cuanto al comportamiento de la cimentación se obtuvo una disminución considerable de los asentamientos de hasta el 92.65% en la zapata Z-6, en cuanto a los esfuerzos de presión de la cimentación se tuvo un aumento de hasta el 71.73% en la zapata Z-6 y disminución de hasta el 20.08% en la zapata Z-2. Estos resultados nos indican una influencia significativa al evaluar el modelo de interacción suelo estructura de la norma rusa SNIP 2.02.05-87 respecto al modelo de base empotrada.

**Palabras clave:** Interacción suelo estructura, respuesta sísmica, edificio aporticado.

#### **ABSTRACT**

This research evaluates the seismic response of a portal frame building considering the effects of soil-structure interaction using the model of the Russian standard SNIP 2.02.05-87 and measuring the influence with respect to the rigid base model; for this purpose, a 5-story building with a structural system of mainly reinforced concrete portal frames with a combined footing foundation on S2 soil was considered as a sample. The methodology used in this study was applied, non-experimental and descriptive.

Among the main results found, it is highlighted the increase of 11.56% of the floor distortions in the X direction, an increase of up to 22.88% in the Y direction; regarding the behavior of the foundation, a considerable decrease of up to 92.65% of the settlements was obtained in footing Z-6, regarding the pressure stresses of the foundation, there was an increase of up to 71.73% in footing Z-6 and a decrease of up to 20.08% in footing Z-2. These results indicate a significant influence when evaluating the soil-structure interaction model of the Russian standard SNIP 2.02.05-87 with respect to the embedded foundation model.

**Keywords:** Soil-structure interaction, seismic response, portal frame building.

## RESUMO

Na presente investigação avalia-se a resposta sísmica de um edifício com pórtico, considerando os efeitos da interação solo-estrutura utilizando o modelo da norma russa SNIP 2.02.05-87 e medindo a influência em relação ao modelo de base rígida; Para isso, considero como amostra um edifício de 5 níveis com um sistema estrutural maioritariamente de pórticos de betão armado com uma fundação combinada assente num solo S2. A metodologia utilizada neste estudo é aplicada, não experimental e descritiva.

Dentre os principais resultados encontrados, destaca-se o aumento das distorções do mezanino em 11,56% na direção X, aumento de até 22,88% na direção Y; Quanto ao comportamento da fundação, obteve-se uma diminuição considerável nos recalques de até 92,65% na sapata Z-6, em termos das tensões de pressão da fundação obteve-se um aumento de até 71,73% na sapata Z. -6 e queda de até 20,08% na base Z-2. Estes resultados indicam uma influência significativa na avaliação do modelo de interação solo-estrutura da norma russa SNIP 2.02.05-87 em relação ao modelo base incorporado.

Palavras-chave: Interação solo-estrutura, resposta sísmica, edifício com pórtico.

## I. INTRODUCCIÓN

El texto destaca la búsqueda constante en ingeniería para mejorar las técnicas de análisis sísmico de edificaciones, con un enfoque especial en la interacción entre el suelo y la base de la estructura. A pesar de la alta sismicidad en países de la costa del Pacífico, muchos modelos de análisis estructural todavía consideran un suelo rígido, aunque existen modelos más avanzados que tienen en cuenta la interacción suelo-estructura (ISE). En América, especialmente en países como México, Chile, Costa Rica y Alaska, la historia de sismos severos ha impulsado la necesidad de mejorar las técnicas de análisis y diseño sísmico. (Ayala, Delgadillo, Ferrer, 2017).

El Perú, ubicado en la región de fuego del Pacífico y altamente sísmico, enfrenta desafíos similares. La concentración de desarrollo económico y población en la costa destaca la importancia de mejorar la seguridad estructural y perfeccionar los modelos de análisis y diseño de edificaciones. Se menciona el terremoto de Pisco en 2007 como ejemplo de la necesidad de medidas más efectivas. El texto también señala que la norma técnica E030 en Perú sugiere la idealización de estructuras sobre una base empotrada en los procesos de análisis sísmico, dejando a criterio del diseñador considerar o no los efectos de flexibilidad de la cimentación. Destaca la importancia de considerar estos efectos al obtener periodos, vibraciones y fuerzas internas de las estructuras. (Villarreal, 2017).

El distrito de San Antonio, situado junto a la ciudad de Moquegua en Perú, se encuentra en una zona altamente sísmica, según la zonificación sísmica del país. Además, las condiciones geotécnicas de la zona revelan la presencia de suelos blandos e intermedios. A pesar de estas características, el modelo de análisis utilizado en la zona sigue las normativas estándar, considerando la estructura como si estuviera sobre una base empotrada y no tomando en cuenta los efectos de flexibilidad del suelo.

La normativa actual propone un análisis menos complicado para los diseñadores, pero carece de un capítulo que considere la intervención de los efectos de interacción suelo-estructura, así como los procedimientos correspondientes. La falta de estudios a nivel nacional sobre diversas características, como tipos de suelos, edificaciones y condiciones de carga, impide realizar modificaciones efectivas en la normativa. Además, la informalidad y las autoconstrucciones en la zona no incorporan estudios ni asesoramiento adecuado, lo que aumenta la vulnerabilidad de las edificaciones frente a posibles sismos severos.

En la actualidad, se entiende que la interacción dinámica entre los suelos y la estructura modifica propiedades importantes, así como el comportamiento de una edificación. Para poder realizar este análisis, se tienen varios modelos internacionales como alternativa de planteamiento, entre los más destacados están, el modelo de D.D. Barkan – Savinov, modelo de Ilichev, también está el modelo Winkler (modelo estático) y el modelo de la norma rusa SNIP 2.02.05-87. Estas alternativas nos permiten analizar las estructuras de una manera más real, y así buscar comprender como es que interactúan el suelo con las cimentaciones y la superestructura para

proponer valores de diseño más aproximados al comportamiento real de las edificaciones (Hernández y Zayas, 2022).

En la investigación estudiada se buscó evaluar los efectos dinámicos de flexibilidad interacción suelo estructura en un proyecto planteado de pórticos, utilizando el Modelo Dinámico planteado por la Norma Rusa SNIP 2. 02.05 – 87 del cual se resalta la inclusión de seis grados de libertad comprendidos por los coeficientes de rigidez, los cuales determinaron de una manera más real el comportamiento estudiado De esta manera se pudo evaluar su respuesta sísmica, y compararla con el modelo tradicional indicado en la norma, donde se considera que la base es rígida, es decir el suelo no se deforma, no se desplaza, ni presenta rotación.

**Interacción suelo estructura (ISE)**

La interacción suelo estructura se define como el conjunto de efectos resultantes de las fuerzas dinámicas de la estructura y el suelo, generando cambios en las propiedades de ambos componentes, especialmente en las proximidades de la cimentación (Avilés y Pérez Rocha, 2004). Se refiere a la influencia mutua entre las cargas y deformaciones de una estructura y la respuesta del suelo en el que se encuentra (Baban et al., 2023). Esta interacción es crucial en el diseño y análisis de diversas infraestructuras, ya que el comportamiento del suelo puede impactar significativamente en la respuesta sísmica de la estructura y viceversa (Guerdouh y Khalfallah, 2019).

La consideración de las propiedades flexibles de la base de fundación, examinando todos los puntos de contacto y apoyos en cada base de la estructura, es un principio fundamental. Se presenta un esquema comparativo entre el modelo tradicional y el modelo de flexibilidad (Ali et al., 2023). Aunque los cimientos de los edificios suelen ser flexibles al estar apoyados en el suelo, el enfoque tradicional asume que la base es rígida, una suposición simplista, ya que la condición local del suelo tiene un impacto significativo en la respuesta de la estructura (Mehraj Wani et al., 2022).

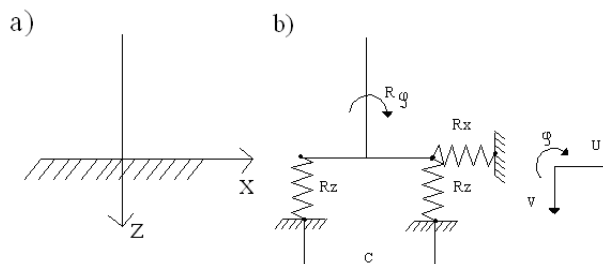


Figura 1. a) Gráfico con base empotrada. b) Gráfico con la flexibilidad en la base, a partir de este esquema se desarrollaron varios modelos.

Como se mencionó a partir de este primer esquema es que surgen tres fuerzas de reacción.

$R_x = K_x u$  .....Fórmula 1. Fuerzas de reacción horizontal

$R_z = K_z v$ .....Fórmula 2. Fuerzas de reacción vertical.

$R_\phi = K_\phi \phi$ .....Fórmula 3. Fuerzas de reacción rotacional.

Donde

$K_{(x,z,\phi)}$ : Son coeficientes de rigidez

$u, v$ : son los desplazamientos vertical y lateral (dirección x, z)

$\phi$ : Angulo de giro

Como esquema tridimensional de cálculo se tiene la figura siguiente, correspondiente a una zapata aislada típica, asimismo se tiene en consideración que el centro de rigidez (C.R.) de la siguiente idealización de cimentación está en el punto “o”. También de observan gráficamente la

ubicación de cada uno de los coeficientes considerados en el modelo (Deepashree R et al., 2020).

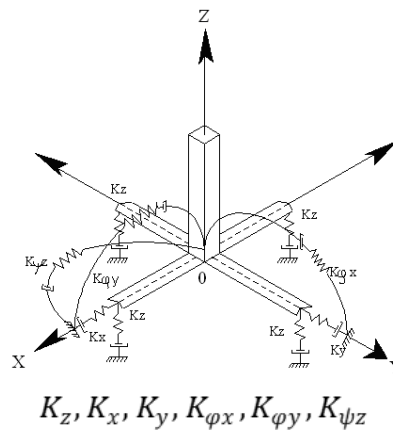


Figura 2. Esquema de la idealización de una cimentación con los coeficientes de rigidez.

### Modelo planteado por la Norma Rusa SNIP. 2 .02.05 – 87

La norma rusa SNIP 2.02.05-87 (Norma de Diseño Estructural Cargas y Efectos) es un conjunto de regulaciones y directrices relacionadas con el diseño estructural en Rusia. Esta norma aborda varios aspectos del diseño, incluida la interacción suelo estructura. Esta norma proporciona directrices específicas sobre cómo evaluar y abordar esta interacción en el proceso de diseño (Farajian et al., 2017).

Esta normativa de Fundaciones de edificios y estructuras, establece un modelo de interacción suelo estructura para el diseño de edificios en suelos sísmicos (M Munirwansyah et al., 2019). La teoría que sustenta el modelo es que la interacción entre el suelo y las estructuras es lineal y que el suelo actúa como un medio elástico. (Terzi y Athanatopoulou, 2021). El modelo se estructura en base a los siguientes componentes:

- Modelo de suelo: Representa las propiedades mecánicas del suelo, como rigidez, resistencia al corte y amortiguación.
- Modelo de estructura: Representa propiedades mecánicas de la estructura, como rigidez, resistencia al corte y amortiguación.
- Interacción entre el suelo y la estructura: Se modela mediante la ecuación de equilibrio de fuerzas.

Es necesario aclarar que no hay ningún método establecido disponible para determinar la rigidez elástica del suelo que refleje el comportamiento no lineal del suelo circundante (W.M. Huang et al., 2022). La teoría de la elasticidad lineal sirve como base para el modelo del suelo; el suelo es considerado como un medio homogéneo e isotrópico con propiedades constantes en el tiempo. El módulo de elasticidad de Young y el coeficiente de Poisson se utilizan para representar la rigidez del suelo (Baytan Ozmen & Gül Tarakcı, 2022). La resistencia al corte del suelo se representa mediante el coeficiente de cortante. La amortiguación del suelo se representa mediante el coeficiente de amortiguación. La estructura se considera un sistema de elementos finitos con propiedades constantes en el tiempo. La matriz de rigidez global muestra la rigidez de la estructura. La matriz de fuerzas cortantes muestra la resistencia al corte de la estructura, asimismo, la amortiguación se representa mediante la matriz de amortiguación. La interacción entre el suelo y la estructura se modela mediante la ecuación de equilibrio de fuerzas. Según la ecuación de equilibrio de fuerzas, la fuerza total ejercida por el suelo sobre la estructura es igual a la fuerza total ejercida sobre el suelo por la estructura. (Bapir et al., 2023).

Se tomará este modelo para el estudio, donde se plantea la manera la hallar los coeficientes de rigidez planteados por la norma rusa (Villarreal, 2009).

- Coeficiente de rigidez de compresión elástica uniforme  
 $K_z = C_z A$  kN/m (T/m) Fórmula 4. Coeficientes de rigidez de compresión elástica uniforme.

- Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme  
 $K_x = C_x A$  kN/m (T/m) Fórmula 5. Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico uniforme.
- Coeficiente de rigidez de compresión elástica no uniforme  
 $K_\varphi = C_\varphi I_\varphi$  kN/m (T/m) Fórmula 6. Coeficiente de rigidez de compresión elástica no uniforme.
- Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico no uniforme  
 $K_\psi = C_\psi I_\psi$  kN/m (T/m) Fórmula 7. Coeficiente de rigidez de desplazamiento elástico no uniforme.

Donde:

A: Área inferior de la cimentación ( $m^2$ );

$I_\varphi$ : momento de inercia ( $m^4$ ) con respecto al eje horizontal, perpendicular al plano de vibración;

$I_\psi$ : momento de inercia ( $m^4$ ) con respecto al eje vertical, el cual pasa por el centro de gravedad de la cimentación (momento polar de inercia).

Coeficientes de desplazamiento elástico uniforme:  $C_x = 0.7C_z$  kN/m<sup>3</sup> (T/m<sup>3</sup>);

Coeficientes de compresión elástica no uniforme:  $C_\varphi = 2C_z$  kN/m<sup>3</sup> (T/m<sup>3</sup>) y

Coeficientes de desplazamiento elástico no uniforme:  $C_\psi = 2C_z$  kN/m<sup>3</sup> (T/m<sup>3</sup>)

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio tuvo un planteamiento tipo investigación aplicada es un enfoque de investigación científica que tiene como objetivo resolver problemas prácticos (Arias, 2020). El enfoque del estudio fue cuantitativo, este enfoque se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos. Asimismo, mediante mediciones numéricas y análisis estadísticos se podrán sacar conclusiones (Hernandez et al., 2014). El diseño de la investigación fue no experimental, es un enfoque de investigación que implica observar, describir y analizar fenómenos tal como ocurren en su entorno natural, sin manipular deliberadamente variables ni establecer un control directo sobre las condiciones del estudio (Hernandez et al., 2014). La investigación fue descriptiva, porque se indagó la influencia de una variable sobre una determinada población (Hernandez et al., 2014). Para el tema planteado se evaluó la incidencia de la interacción suelo estructura en la respuesta sísmica de una determinada estructura, se describió su influencia mediante la comparación de los distintos indicadores, entre un modelo tradicional de análisis y uno considerando interacción suelo estructura.

**Población.** Para el estudio la población estuvo definida por todos los edificios aporticados de 5 pisos cimentados sobre zapatas y ubicados en el distrito San Antonio, Moquegua. **Muestra.** En el estudio se planteó como muestra una edificación aporticada de 5 pisos cimentada sobre zapatas, ubicada en la asociación Alto Tiwinza Mz. E, lote 6 del distrito San Antonio, Moquegua. **Técnicas de recolección de datos.** Para el estudio, se aplicó la observación, la cual se caracteriza por registrar de una manera sistemática, válida y confiable todos los comportamientos a través de categorías (Hernandez et al., 2014). En la investigación planteada se observó características del sitio de estudio, propiedades del suelo, análisis del procesamiento de datos en programas computacionales; estos a su vez se registraron en listas, tablas o fichas de observación. También se hizo uso de la técnica del análisis documental, cuyo objetivo es evaluar bibliografías importantes para el estudio (Bernal, 2010). Para el estudio se analizó principalmente normas como NTP E.030 Diseño sismorresistente.

### Detalle del procedimiento

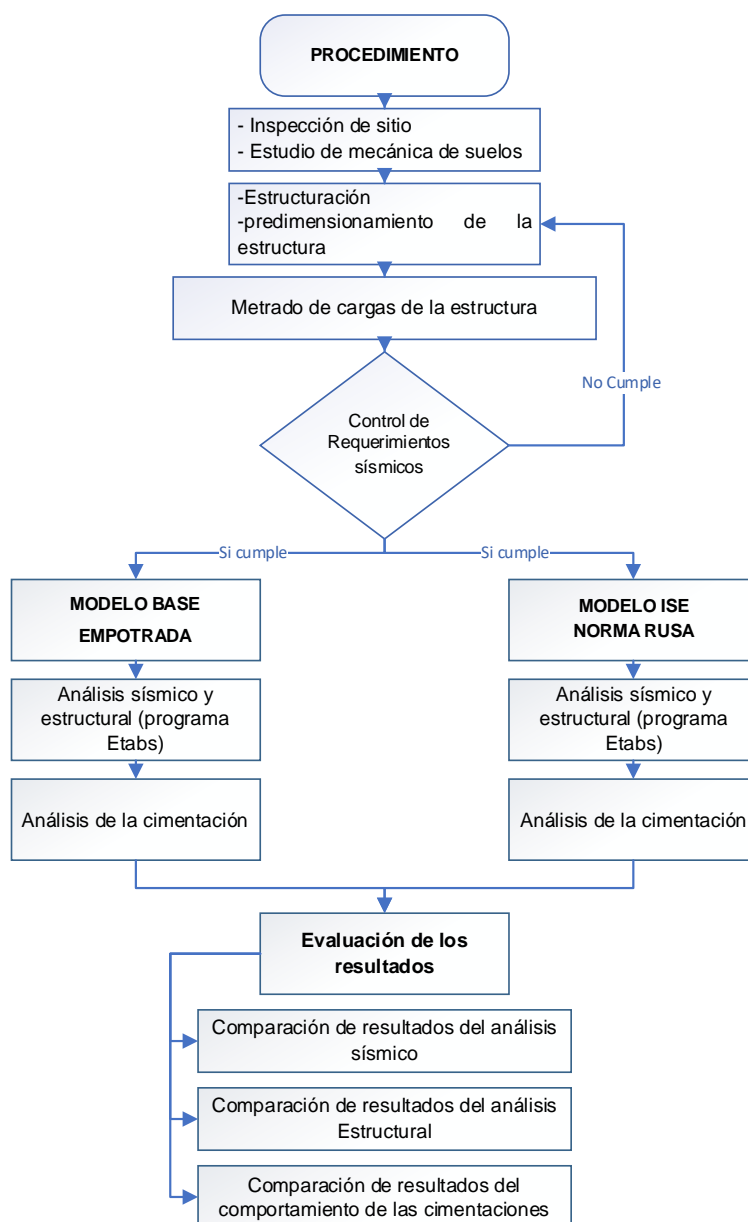


Figura 3. Diagrama de procedimientos para el análisis ISE.

- a) **Inspección de sitio y estudio de mecánica de suelos:** Como inicio del estudio, se hizo una inspección al sitio, se realizó una calicata y el respectivo estudio de suelos. Previo a ello se pidió autorización del propietario para poder realizar los estudios pertinentes, se tiene el Anexo 5 Carta de autorización para estudios en propiedad privada.
- b) **Estructuración y predimensionamiento de la estructura:** Con los planos de arquitectura se hizo una estructuración inicial y predimensionamiento de columnas, vigas, losas, escaleras y placas.
- c) **Metrado de cargas de la estructura:** Para determinar el peso de la edificación se realizó el metrado de cargas, correspondientes a carga viva, carga muerta y cargas de sismo.
- d) **Control de requerimientos sísmicos:** Se utilizó la norma peruana E.030.
- e) **Análisis sísmico y estructural (programa Etabs):** Se hizo el modelamiento de dos estructuras en el programa Etabs, el primer modelo fue considerando una base empotrada y el segundo modelo aplicando lo estipulado por la norma rusa SNIP 2.02.05-87.
- f) **Análisis de la cimentación (programa Etabs):** De similar manera se hizo dos modelamientos, para las cimentaciones de la estructura.
- g) **Comparación de resultados del análisis sísmico:** Asimismo, se analizó los resultados de ambos modelos, este análisis se basó en los indicadores de periodos de vibración, distorsiones de entrepiso y cortante basal.

- h) **Comparación de resultados del análisis Estructural:** De similar manera se comparó los indicadores de fuerzas internas (fuerzas de corte y axiales, momentos flectores y torsores).
- i) **Comparación de resultados del comportamiento de las cimentaciones:** Se hizo una comparación de los resultados correspondientes a los asentamientos y esfuerzos de las cimentaciones de los dos modelamientos.

### III. RESULTADOS

Se entiende que los resultados específicos dependen del enfoque y los objetivos del estudio, es importante tener en cuenta que la información obtenida de estos estudios es esencial para el diseño seguro y eficiente de estructuras y proyectos de ingeniería civil

Luego de realizar el estudio de mecánica de suelos en laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados importantes:

- Descripción del suelo: Arena arcillosas con gravillas aisladas.
- Clasificación SUCS: SC
- Clasificación AASHTO: A-6(2)
- Módulo de Poisson  $\mu$ : 0.25
- Módulo de elasticidad E: 3000 tn/m<sup>2</sup>
- Presión admisible: 1.14 kg/cm<sup>2</sup>
- Peso específico del suelo: 2.083 kg/m<sup>3</sup>
- Angulo de Fricción: 29.97°
- Cohesión C: 0.059
- Tipo de perfil del suelo: S2

El modelamiento de la edificación se realizó en el programa Etabs tanto el análisis estático como el análisis dinámico.

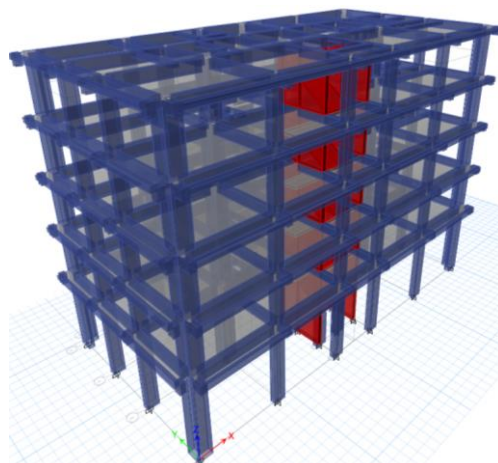


Figura 4. Modelado de la estructura en Etabs, vista 3D. Tomada de Etabs 21.

#### Modelamiento de la estructura – Modelo de Base empotrada: Determinación de factores y coeficientes sísmico de acuerdo a norma E. 030

Previo al modelamiento de la edificación se procedió a determinar los Factores ZUCS y otros coeficientes como se detalla a continuación.

Tabla 1. Factores y Coeficientes hallados de acuerdo a la Norma E. 030

Factores y Coeficientes		
Tipo de Factor /Coeficiente	Detalle	Factor
Factor Zona	La edificación se ubica en la Zona 4	0.45
Factor Uso	La estructura es de uso común	1.0
Factor de Amplificación Sísmica	Para las direcciones X e Y	2.5
Factor Suelo	Suelo S2	1.05
Coeficiente básico de reducción sísmica “R <sub>0</sub> ”:	Para ambas direcciones predomina el sistema de pórticos	8.0

Nota: Elaborada por la autora.

## Modelamiento en Etabs considerando interacción suelo estructura Norma Rusa

### Determinación de los Coeficiente de Rigidez de acuerdo al modelo de la norma rusa SNIP 2.02.05-87

Para el cálculo se tomó los datos siguientes.

Tabla 2. Propiedades del suelo

Propiedades del Suelo	
Módulo de Elasticidad (E)	3000 ton/m <sup>2</sup>
Densidad (ρ)	2.086 tn/m <sup>3</sup>
Módulo de Poisson (μs)	0.25
Ángulo de Fricción (Φs)	29.97

Nota: Elaborada por la autora.

#### Zapata 1:

##### Coeficiente de Compresión Elástica Uniforme

$$C_z = b_0 E \left( 1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right)$$

$$b_0 = 1.5$$

$$A_{10} = 10 \text{ m}^2$$

$$A = 2.3 \times 5.8 = 13.34 \text{ m}^2 \dots\dots \text{Área de la zapata 1}$$

$$C_z = b_0 E \left( 1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right) = 8396.1404 \text{ tn/m}^3$$

##### Coeficientes de desplazamiento elástico

$$C_x = C_y = 0.7 C_z = 5877.2983 \text{ t/m}^3$$

$$C_{\varphi x} = C_{\varphi y} = 2 C_z = 16792.2808 \text{ t/m}^3$$

$$C_{\psi} = C_z = 5877.2983 \text{ t/m}^3$$

##### Cálculo de los coeficientes de rigidez

$$K_z = C_z A = 112004.513 \text{ t/m}$$

$$K_x = C_x A = 78403.1591 \text{ t/m}$$

$$K_y = C_y A = 78403.1591 \text{ t/m}$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} I = 98750.6456 \text{ t/m}$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} I = 98750.6456 \text{ t/m}$$

$$K_{\psi} = C_{\psi} I_{\psi} = 363361.3075 \text{ t/m}$$

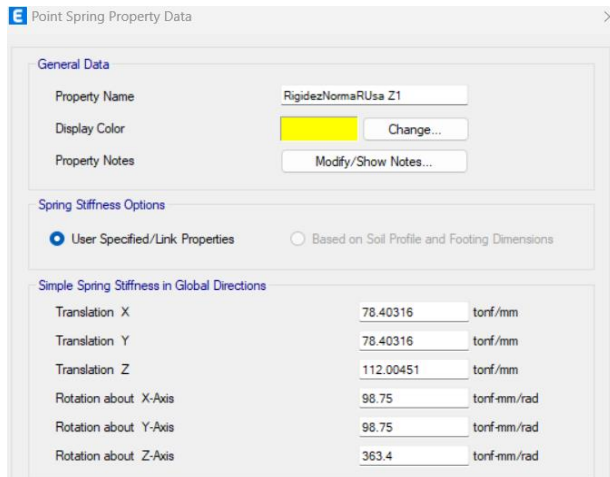


Figura 5. Asignación de coeficientes de rigidez en Etabs – zapata 1. Tomada de Etabs 21.

### Zapata 2:

#### Coefficiente de Compresión Elástica Uniforme

$$C_z = b_0 E \left( 1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right)$$

$$b_0 = 1.5$$

$$A_{10} = 10 \text{ m}^2$$

$$A = 2.3 \times 4.0 = 9.2 \text{ m}^2 \dots\dots \text{Área de la zapata 2}$$

$$C_z = b_0 E \left( 1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right) = 9191.574 \text{ tn/m}^3$$

#### Coefficientes de desplazamiento elástico

$$C_x = C_y = 0.7 C_z = 6434.1020 \text{ t/m}^3$$

$$C_{\varphi x} = C_{\varphi y} = 2 C_z = 18383.1486 \text{ t/m}^3$$

$$C_{\psi} = C_z = 9191.5743 \text{ t/m}^3$$

#### Cálculo de los coeficientes de rigidez

$$K_z = C_z A = 84562.4837 \text{ t/m}$$

$$K_x = C_x A = 59193.7386 \text{ t/m}$$

$$K_y = C_y A = 9193.7386 \text{ t/m}$$

$$K_{\varphi x} = C_{\varphi x} I = 74555.9231 \text{ t/m}$$

$$K_{\varphi y} = C_{\varphi y} I = 74555.9231 \text{ t/m}$$

$$K_{\psi} = C_{\psi} I_{\psi} = 150027.9398 \text{ t/m}$$

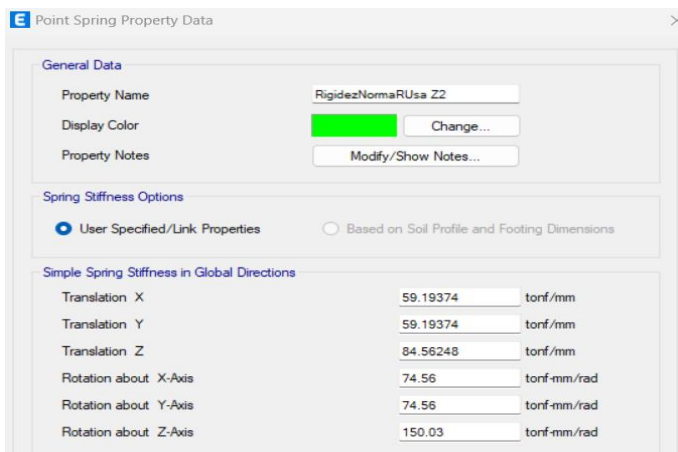


Figura 6. Asignación de coeficientes de rigidez en Etabs – zapata 2. Tomada de Etabs 21.

### Análisis de los resultados de los diferentes modelos

#### Comparación Periodos de Vibración

De acuerdo a los resultados obtenidos se encontró influencia en el periodo de vibración donde se obtuvo incrementos entre ambos modelos de hasta el 4.03% en el 3er modo.

Tabla 3. Comparación Periodos de Vibración.

Comparación de Periodos de Vibración de la Estructura			
Modos	Periodos (seg) Modelo base empotrada	Periodos (seg) Modelo Norma rusa SNIP 2.02.05-87	% de Variación de Periodos
1	0.439	0.452	2.96%
2	0.401	0.410	2.24%
3	0.347	0.361	4.03%
4	0.134	0.137	2.24%
5	0.126	0.128	1.59%
6	0.091	0.094	3.30%
7	0.071	0.072	1.41%
8	0.068	0.069	1.47%
9	0.045	0.046	2.22%
10	0.043	0.044	2.33%
11	0.042	0.043	2.38%
12	0.034	0.034	0.00%
13	0.032	0.032	0.00%
14	0.026	0.026	0.00%
15	0.019	0.019	0.00%

Nota: Elaborada por la autora. En base a resultados obtenidos del Etabs 21.

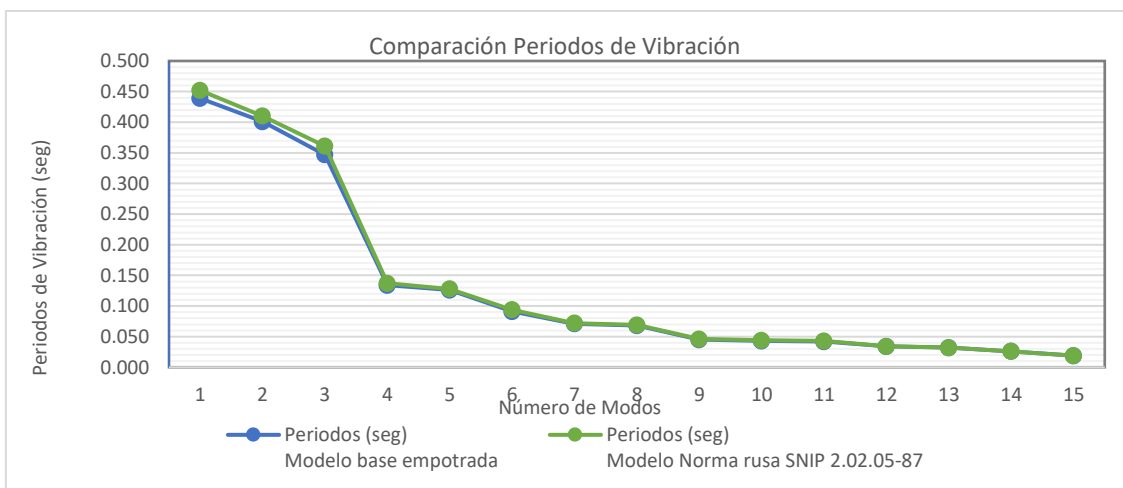


Figura 7. Comparación de Periodos de Vibración. Elaborada por la autora.

### Comparación de Distorsiones de Entrepiso – Dirección X

Con respecto a las distorsiones de entrepiso en la dirección X, los mayores valores estuvieron en el segundo nivel, sin embargo, el mayor incremento fue en el primer nivel con una variación porcentual del 11.56%.

Tabla 4. Comparación de Distorsiones de entrepiso en la Dirección X - Sismo Dinámico X

Comparación de Distorsiones de entrepiso en la Dirección X - Sismo Dinámico X			
N° de Nivel	Distorsiones Modelo base empotrada	Distorsiones Modelo Norma rusa SNIP 2.02.05-87	% de Variación de Distorsiones en X
Nivel 5	0.0019	0.0019	2.21%
Nivel 4	0.0030	0.0031	1.78%
Nivel 3	0.0041	0.0042	1.91%
Nivel 2	0.0047	0.0048	2.81%
Nivel 1	0.0035	0.0039	11.56%

Nota: Elaborada por la autora. En base a resultados obtenidos del Etabs 21.

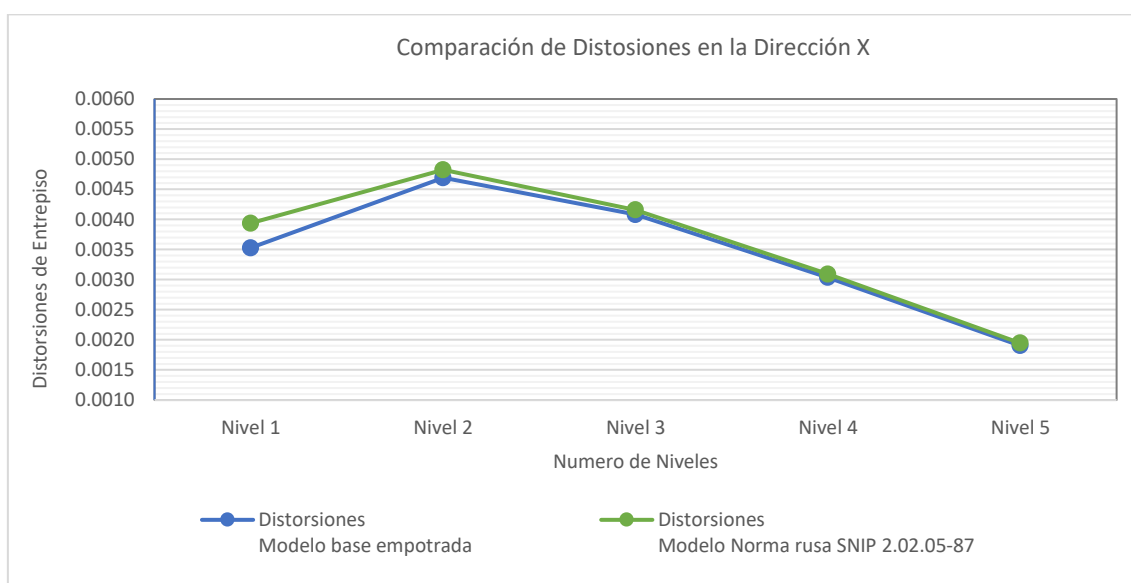


Figura 8. Comparación de Periodos de Vibración. Elaborada por la autora.

### Comparación de Distorsiones de Entrepiso – Dirección YY

En la dirección X, los mayores valores estuvieron en el tercer nivel, sin embargo, el mayor incremento fue en el primer nivel con una variación porcentual del 22.88%.

Tabla 5. Comparación de Distorsiones de entrepiso en la Dirección Y.

Comparación de Distorsiones de entrepiso en la Dirección Y - Sismo Dinámico Y			
N° de Nivel	Distorsiones Modelo base empotrada	Distorsiones Modelo Norma rusa SNIP 2.02.05-87	% de Variación de Distorsiones en Y
Nivel 5	0.0028	0.0030	4.76%
Nivel 4	0.0033	0.0035	4.78%
Nivel 3	0.0036	0.0037	5.58%
Nivel 2	0.0033	0.0035	8.10%
Nivel 1	0.0018	0.0022	22.88%

Nota: Elaborada por la autora. En base a resultados obtenidos del Etabs 21.

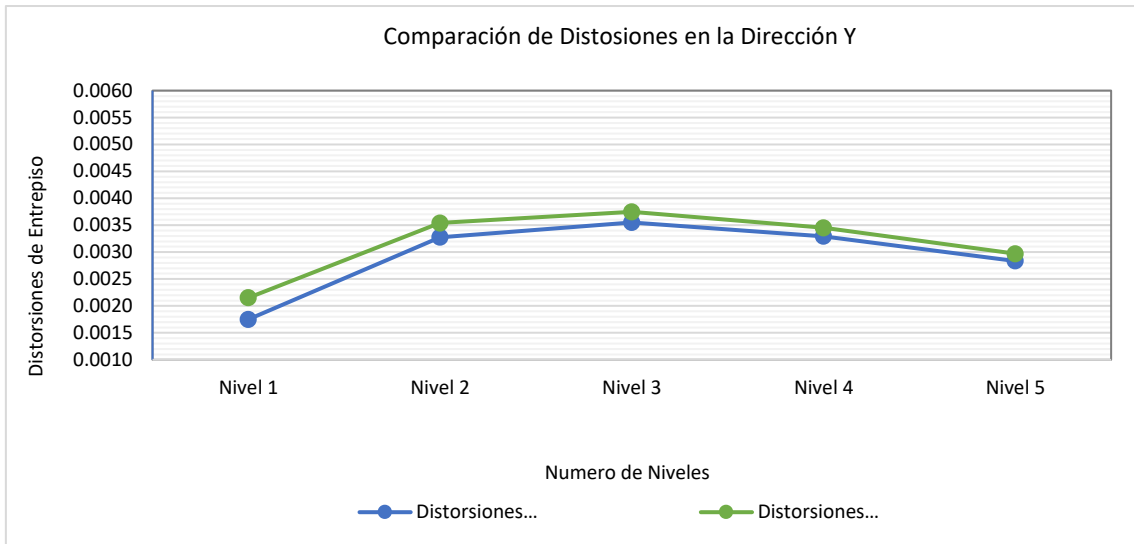


Figura 9. Comparación de Distorsiones en la dirección Y. Elaborada por la autora.

### Comparación de Cortante Basal En la dirección X-X

Con respecto a la cortante basal los mayores valores estuvieron en el primer nivel de la estructura, el mayor incremento que se tuvo entre un modelo y el otro fue del 0.98% en la dirección X.

Tabla 6. Comparación de Cortante Basal de entpiso en la Dirección X - Sismo Dinámico X

Comparación de Cortante Basal en la Dirección X - Sismo Dinámico X			
N° de Nivel	Cortante Basal (tn) Modelo base empotrada	Cortante Basal (tn) Modelo Norma rusa SNIP 2.02.05-87	% de Variación de Cortante Basal en X
Nivel 5	36.040	35.859	-0.50%
Nivel 4	75.665	75.581	-0.11%
Nivel 3	107.289	107.473	0.17%
Nivel 2	129.759	130.427	0.51%
Nivel 1	141.804	143.196	0.98%

Nota: Elaborada por la autora. En base a resultados obtenidos del Etabs 21.

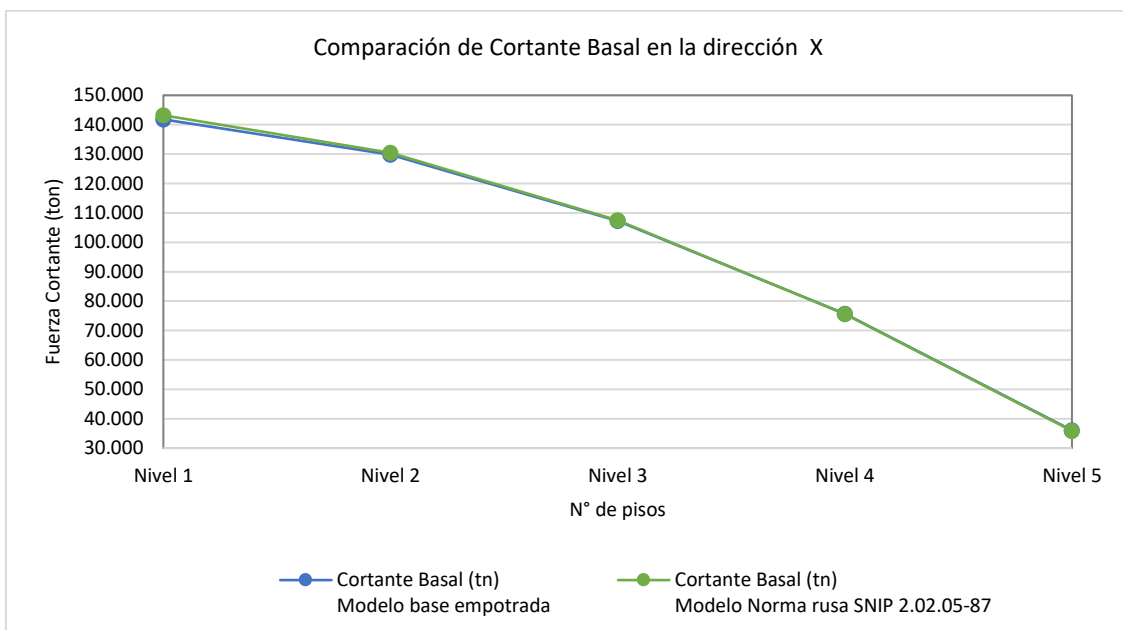


Figura 10. Comparación cortante basal en la dirección X. Elaborada por la autora.

### En la dirección Y-Y

En la dirección Y los mayores valores estuvieron en el primer nivel de la estructura y el mayor incremento que se tuvo entre un modelo y el otro fue de 1.76%.

Tabla 7. Comparación de Cortante Basal de entrepiso en la Dirección Y - Sismo Dinámico Y

Comparación de Cortante Basal en la Dirección Y - Sismo Dinámico Y			
Nº de Nivel	Cortante Basal (tn) Modelo base empotrada	Cortante Basal (tn) Modelo Norma rusa SNIP 2.02.05-87	% de Variación de Cortante Basal en Y
Nivel 5	52.506	52.281	-0.43%
Nivel 4	102.034	102.313	0.27%
Nivel 3	137.959	138.944	0.71%
Nivel 2	161.617	163.530	1.18%
Nivel 1	173.263	176.310	1.76%

Nota: Elaborada por la autora. En base a resultados obtenidos del Etabs 21.

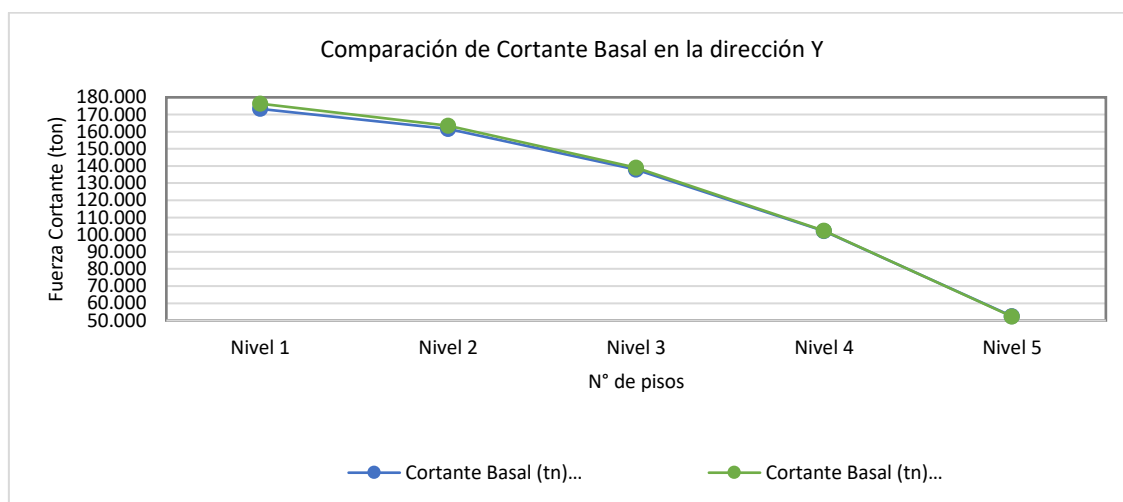


Figura 11. Comparación cortante basal en la dirección Y. Elaborada por la autora.

### Análisis estructural

Para el análisis estructural se tomó como indicadores las fuerzas internas axiales, de corte, flexión y torsión. Se tomó el pórtico 3-3 del primer piso para la evaluación de resultados, los cuales se muestran a continuación.

### Comparación de Fuerzas Axiales por Carga Última

En cuanto a las fuerzas axiales se observó un mayor incremento del 0.64% en la columna 3F a compresión, por otro lado, en otras columnas del pórtico la fuerza axial disminuyó como el caso de la columna 3C con 0.20% menos que en el modelo de base empotrada, estas variaciones son mínimas, pero también necesarias considerarla.

Tabla 8. Comparación de Fuerzas Axiales por Carga Última 1.4CM+1.7CV, Pórtico 3-3

Comparación de Fuerzas axiales por Carga Última - Pórtico 3-3 (Ton)			
Nº de Elemento	Fuerzas axiales (tn) Modelo base empotrada	Fuerzas axiales (tn) Modelo Norma rusa SNIP 2.02.05-87	% de Variación de Fuerzas axiales
Columna 3A	-66.64	-66.72	0.12%
Columna 3B	-92.70	-92.54	-0.17%
Columna 3C	-69.47	-69.33	-0.20%
Columna 3D	-66.22	-66.18	-0.06%
Columna 3E	-88.92	-88.78	-0.16%
Columna 3F	-50.13	-50.45	0.64%

Nota: Elaborada por la autora. En base a resultados obtenidos del Etabs 21.

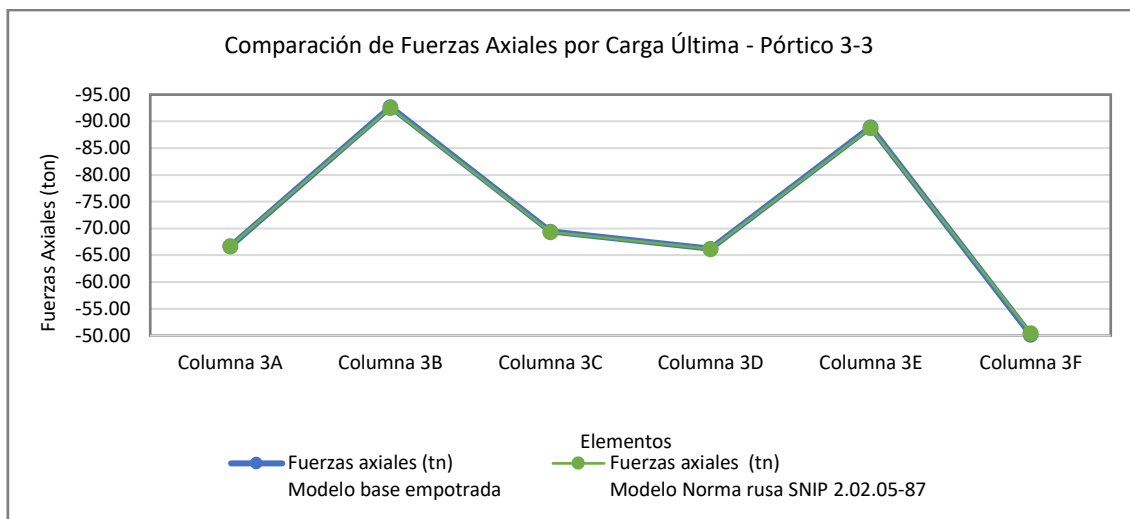


Figura 12. Comparación fuerzas axiales pórtico 3-3. Elaborada por la autora.

### Comparación de Fuerzas Cortantes por Carga Última Sismo Dinámico en X

En general hubo incrementos en las fuerzas cortantes en los elementos, es especial en las columnas, muestra de ello en la columna central 3C del pórtico 3-3 se tuvo un incremento de hasta el 10.16%.

Tabla 9. Comparación de Fuerzas Cortantes por Carga Última Sismo Dinámico en X – Pórtico 3-3

Comparación de Fuerzas Cortantes por Sismo Dinámico X - Pórtico 3-3 (Ton)			
N° de Elemento	Fuerzas Cortantes (tn) Modelo base empotrada	Fuerzas Cortantes (tn) Modelo Norma rusa SNIP 2.02.05-87	% de Variación de Fuerzas Cortantes
Columna 3A	3.56	3.71	4.28%
Columna 3B	4.49	4.91	9.31%
Columna 3C	4.70	5.18	10.16%
Columna 3D	4.72	5.14	8.96%
Columna 3E	4.49	4.90	9.19%
Columna 3F	3.60	3.75	4.25%

Nota: Elaborada por la autora. En base a resultados obtenidos del Etabs 21.

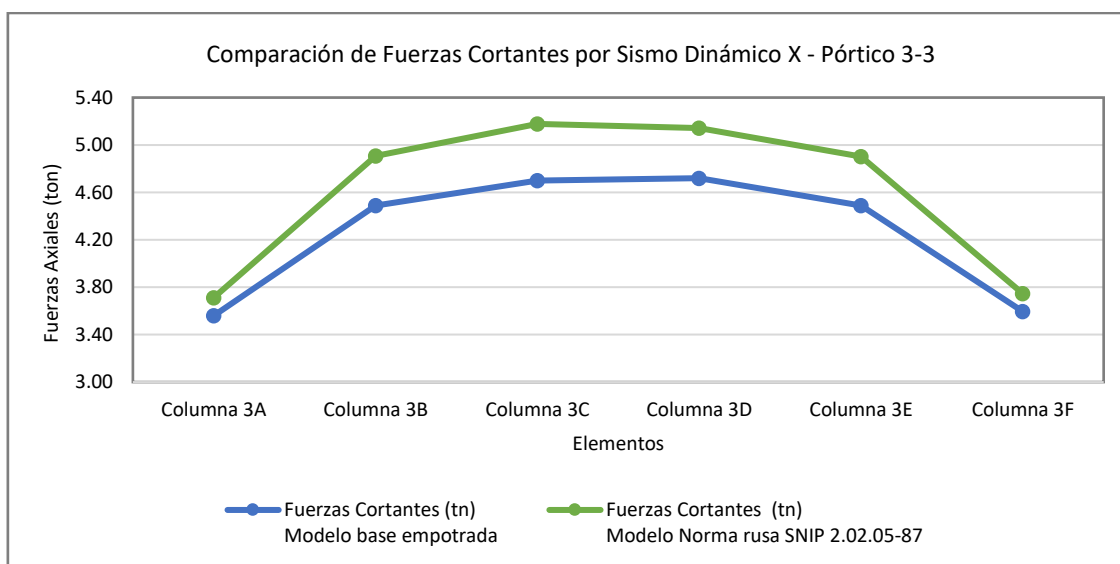


Figura 13. Gráfico comparativo de Fuerzas Cortantes por Sismo Dinámico X - Pórtico 3-3

### Comparación de Momentos Flectores por Carga Última Sismo Dinámico en Y

En cuanto a los momentos flectores del pórtico 3-3 de referencia, se tuvo mayores incrementos en las columnas centrales, tal es el caso de la columna 3E donde hubo un incremento en los momentos hasta en un 6.39%.

Tabla 10. Comparación de Momentos Flectores por Sismo Dinámico en Y - Pórtico 3-3

Comparación de Momentos Flectores por Sismo Dinámico en X - Pórtico 3-3 (Ton-m)			
N° de Elemento	Momentos flectores (tn.m) Modelo base empotrada	Momentos flectores (tn.m) Modelo Norma rusa SNIP 2.02.05-87	% de Variación de Momentos flectores
Columna 3A	8.47	8.51	0.55%
Columna 3B	9.42	10.02	6.38%
Columna 3C	9.68	10.28	6.25%
Columna 3D	9.64	10.25	6.27%
Columna 3E	9.41	10.01	6.39%
Columna 3F	8.51	8.54	0.42%

Nota: Elaborada por la autora. En base a resultados obtenidos del Etabs 21.

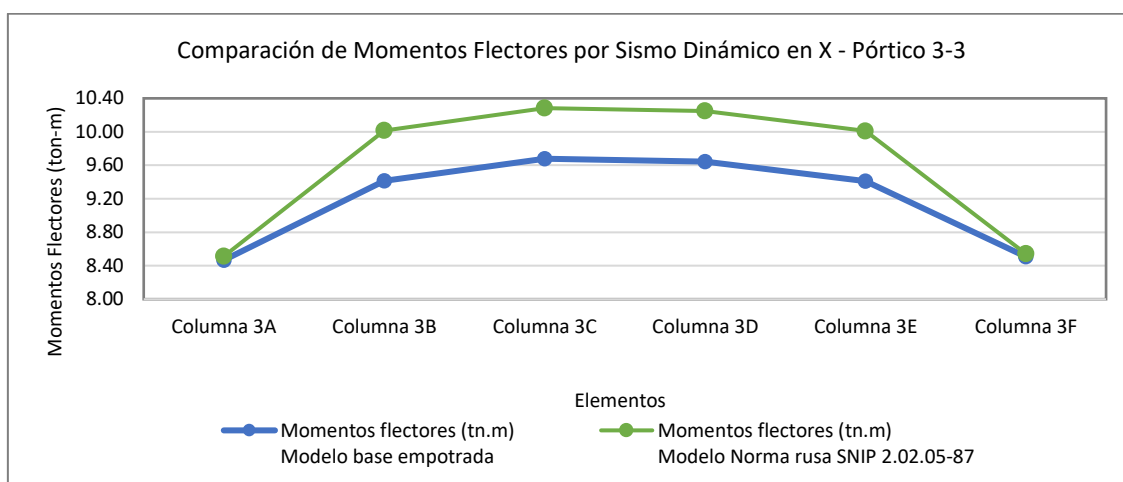


Figura 14. Gráfico comparativo de momentos Flectores – por sismo dinámico Y – Pórtico 3-3

### Comparación de Momentos Torsores por Carga Última Sismo Dinámico en Y

En el caso de los momentos torsores se tuvo considerables incrementos, una muestra de ello fue el incremento que se dio en la viga 3-AB con el 11.95%.

Tabla 11. Comparación de Momentos torsores por Sismo Dinámico en Y – Pórtico 3-3

Comparación de Momentos torsores por Sismo Dinámico en Y - Pórtico 3-3 (Ton-m)			
N° de Elemento	Momentos torsores (tn.m) Modelo base empotrada	Momentos torsores (tn.m) Modelo Norma rusa SNIP 2.02.05-87	% de Variación de Momentos torsores
VIGA 3-AB	0.45	0.51	11.95%
VIGA 3-BC	0.52	0.58	11.81%
VIGA 3-CD	0.54	0.60	11.42%
VIGA 3-DE	0.51	0.57	11.81%
VIGA 3-EF	0.52	0.58	11.60%

Nota: Elaborada por la autora. En base a resultados obtenidos del Etabs 21.

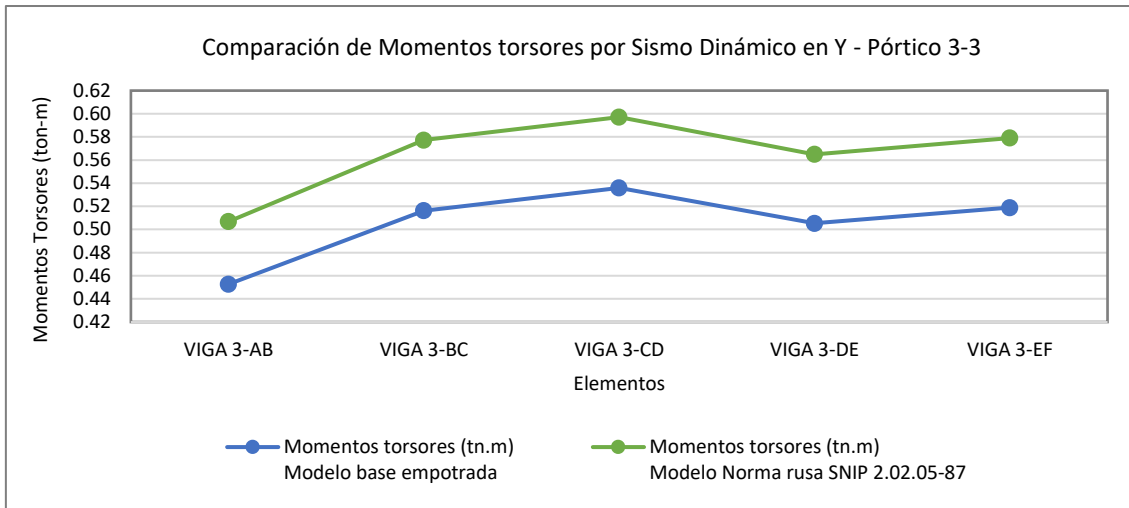


Figura 15. Gráfico comparativo de Momentos torsores por Sismo Dinámico en Y - Pórtico 3-3

### Comportamiento de la cimentación.

Se trabajó con 2 modelos donde se tomó los resultados debido a carga ultima, en el primer modelo se incluyó en balasto vertical, por otro lado, en el otro modelo se utilizó el modelo de la norma rusa SNIP 2.02.05-87.

### Comparación de Asentamientos de las Cimentaciones

Los asentamientos recibieron gran influencia, muestra de ello fue la disminución considerable de los asentamientos en las zapatas en más del 80%, la mayor disminución se dio en la zapata Z-6 con el 92.65%.

Tabla 12. Comparación de Asentamientos Máximos de Zapatas Combinadas debidos a Carga Última.

Comparación de Asentamientos Máximos de Zapatas Combinadas por Carga Última			
Zapata	Asentamientos (mm) Modelo con balasto vertical	Asentamientos (mm) Modelo Norma rusa SNIP 2.02.05-87	% de Variación de Asentamientos
Z - 1	1.985	0.148	-92.54%
Z - 2	1.363	0.199	-85.40%
Z - 3	1.101	0.093	-91.55%
Z - 4	1.083	0.093	-91.41%
Z - 5	1.335	0.200	-85.02%
Z - 6	1.714	0.126	-92.65%
Z - 7	1.590	0.143	-91.01%
Z - 8	1.074	0.165	-84.64%
Z - 9	1.041	0.132	-87.32%
Z - 10	1.012	0.128	-87.35%
Z - 11	1.053	0.158	-85.00%
Z - 12	1.324	0.111	-91.62%

Nota: Elaborada por la autora. En base a resultados obtenidos del Etabs 21.

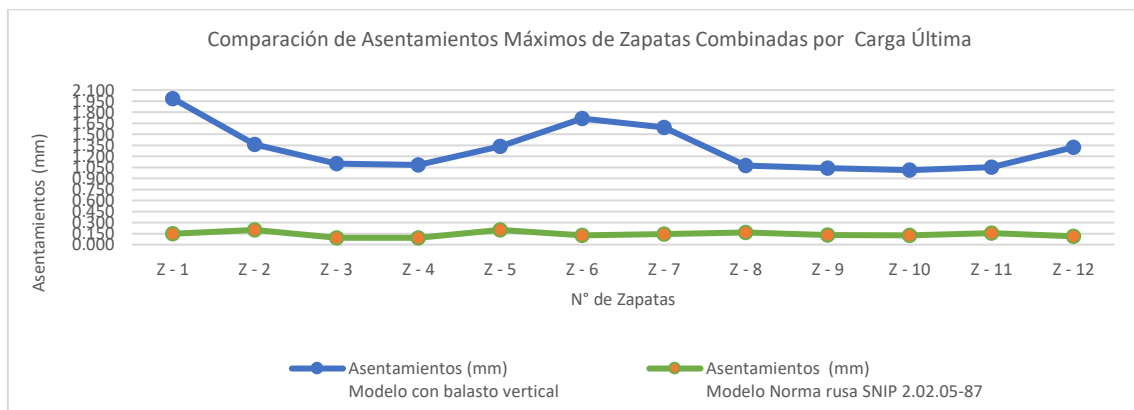


Figura 16. Comparación de los asentamientos Máximos por carga última. Elaborada por la autora.

### Comparación de Esfuerzos de presión de las Cimentaciones debido a Carga Última

En el caso de los esfuerzos de presión estas disminuyeron e incrementaron con se muestra en la tabla siguiente, se resalta el incremento en la zapata Z-6 con un 71.73%.

Tabla 13. Comparación de Esfuerzos Máximos de Zapatas Combinadas debidos a Carga Última.

Comparación de Esfuerzos en Zapatas Combinadas por Carga Última			
Ubicación	Esfuerzos de presión (tn/m) Modelo con balasto vertical	Esfuerzos de presión (tn/m) Modelo Norma rusa SNIP 2.02.05-87	% de Variación de esfuerzos de presión
Z - 1	64.898	103.104	58.87%
Z - 2	58.351	46.635	-20.08%
Z - 3	29.661	28.348	-4.43%
Z - 4	29.058	28.586	-1.62%
Z - 5	56.575	46.094	-18.53%
Z - 6	51.781	88.924	71.73%
Z - 7	53.797	82.602	53.54%
Z - 8	44.028	38.756	-11.97%
Z - 9	32.933	37.079	12.59%
Z - 10	37.536	36.032	-4.01%
Z - 11	43.618	37.195	-14.73%
Z - 12	42.233	69.888	65.48%

Nota: Elaborada por la autora. En base a resultados obtenidos del Etabs 21.

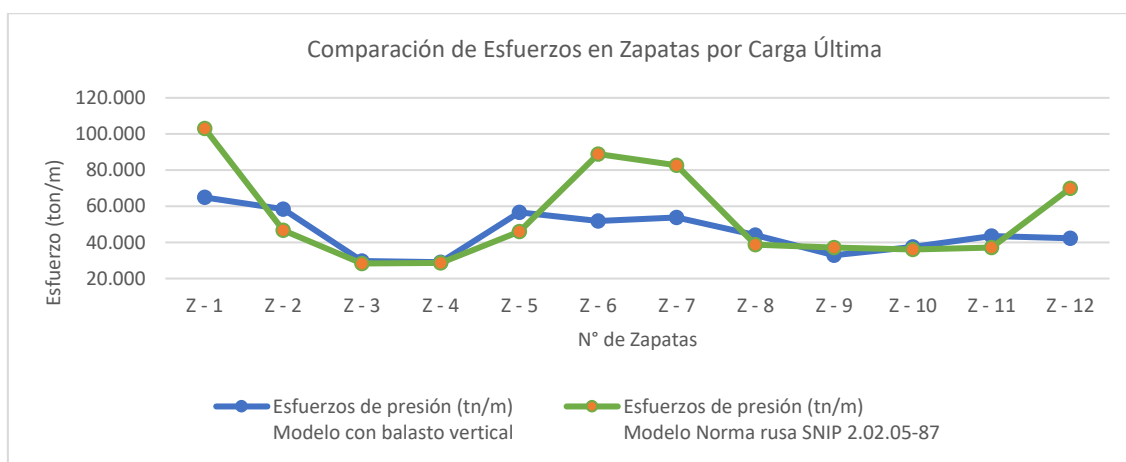


Figura 17. Gráfico comparativo de los esfuerzos en zapatas, bajo carga última.

## IV. DISCUSIÓN

La investigación abordó la evaluación detallada de la interacción suelo-estructura en un edificio aporticado en el Distrito San Antonio, Moquegua, utilizando el modelo de la norma rusa SNIP 2.02.05-87. Se compararon los resultados de dos modelos, destacando variaciones notables en la respuesta sísmica. Se observó un aumento de hasta el 22.88% en las distorsiones de entrepiso, una reducción de hasta el 95.65% en los asentamientos de la cimentación, y un aumento de hasta el 71.73% en los esfuerzos de la cimentación con respecto al modelo de base empotrada. Los resultados sugieren que considerar la interacción suelo-estructura según la norma rusa tiene un impacto significativo en el comportamiento sísmico del edificio.

Comparando estos hallazgos con los de Dhahbia y Khalfallah (2019), se evidencian similitudes y diferencias en la influencia de la interacción suelo-estructura en edificaciones aporticadas. Ambos estudios subrayan la importancia de este factor en el diseño y análisis sísmico, aunque se centran en aspectos específicos. La variación en los esfuerzos de la cimentación destaca la importancia de evaluar los efectos del modelo en estudio en varios parámetros, ofreciendo valiosa información para mejorar las prácticas de diseño sísmico en zonas de riesgo. Ambas investigaciones contribuyen al avance en la comprensión de la respuesta sísmica de edificios aporticados, resaltando la complejidad de estos fenómenos y la necesidad de enfoques específicos para las diferentes características de las estructuras.

La investigación se centró en analizar la influencia de la interacción suelo-estructura en el análisis sísmico de un edificio aporticado en el distrito San Antonio, Moquegua 2023. Los resultados destacan efectos significativos en varios parámetros estructurales al considerar la interacción suelo-estructura en comparación con un análisis que no la incluye. Se observaron variaciones notables en los periodos de vibración, con incrementos del 2.96%, 2.24%, y 4.03% en el primer, segundo y tercer modo, respectivamente. Estos hallazgos indican un claro impacto de la interacción suelo-estructura en la respuesta dinámica del edificio, afectando la distribución de masa y rigidez en los modos de vibración. Al comparar estos resultados con la investigación de Ccalluchi (2022), se observa una convergencia en la tendencia de incremento en los periodos de vibración. Ambos estudios sugieren que esta interacción genera un comportamiento dinámico diferente en estructuras aporticadas y de concreto armado. Respecto a las distorsiones de entrepiso, se registró un aumento significativo en ambas direcciones.

En cuanto al cortante basal, las variaciones fueron más moderadas, con un incremento del 0.98% en la dirección X y del 1.76% en la dirección Y. Aunque la interacción suelo-estructura influye en periodos de vibración y distorsiones de entrepiso, su impacto en el cortante basal es más limitado. La investigación destaca que la magnitud de los efectos de la interacción suelo-estructura puede variar según la geometría, características del suelo y métodos de análisis entre los edificios estudiados. En conclusión, ambas investigaciones, incluida la de Ccalluchi (2022), subrayan la importancia de considerar la interacción suelo-estructura en el análisis sísmico de edificios. Aunque hay variaciones en resultados específicos, la consistencia en la tendencia de aumento en periodos de vibración y deformaciones laterales indica que esta interacción es un factor crucial que debe evaluarse cuidadosamente en el diseño y análisis de estructuras sísmicamente vulnerables, como los edificios aporticados.

La investigación se propuso determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en el análisis estructural de un edificio aporticado en el distrito San Antonio, Moquegua 2023, utilizando el modelo de la norma rusa SNIP 2.02.05-87. En cuanto a las fuerzas internas de la estructura, se observaron resultados significativos, como un incremento del 0.64% en las fuerzas axiales de la columna 3F y un aumento del 10.16% en las fuerzas cortantes de la columna 3C. Además, se destacaron incrementos del 6.39% en los momentos flectores de la columna 3E y del 11.95% en los momentos torsores de la viga 3-AB. Al comparar estos resultados con la investigación de Reátegui Fasabi (2020), que utilizó el modelo de D.D. Barkan – O.A. Savinov en una edificación aporticada en Trujillo, se encontraron similitudes y diferencias. La interacción suelo-estructura bajo el modelo ruso generó variaciones sustanciales en las fuerzas internas, siendo más notables en las fuerzas cortantes y los momentos torsores. Estos resultados contrastaron con la investigación previa, donde se observó una disminución en las fuerzas cortantes y un modesto aumento en los momentos flectores.

Las discrepancias entre ambas investigaciones podrían deberse a diferencias en la configuración estructural, características del suelo y métodos específicos utilizados. Estos hallazgos subrayan la complejidad de la interacción suelo-estructura y resaltan la importancia de evaluarla con detalle en el contexto específico de cada proyecto. En conclusión, ambas investigaciones confirman la influencia de la interacción suelo-estructura en el análisis estructural de edificios aporticados, pero las variaciones específicas en las fuerzas internas difieren entre los estudios, subrayando la necesidad de considerar cuidadosamente esta interacción en el diseño y análisis estructural, adaptándolo a las condiciones específicas del sitio y la geometría de la estructura.

La investigación se enfocó en analizar la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento de las cimentaciones de un edificio aporticado en el distrito San Antonio, Moquegua 2023, aplicando el modelo de la norma rusa SNIP 2.02.05-87. Se destacaron importantes disminuciones en los asentamientos de las zapatas de esquina, como la zapata Z-1 con una reducción del 92.54% y la zapata Z-6 con una reducción del 92.65%. En términos de esfuerzos de presión del suelo, se observaron variaciones notables, como un aumento del 58.87% en la zapata Z-1, un incremento del 71.73% en la zapata Z-6, un aumento del 53.54% en la zapata Z-7 y un incremento del 65.48% en la zapata Z-12. La investigación confirmó la influencia sustancial de la interacción suelo-estructura en el comportamiento de la cimentación, con cambios significativos en asentamientos y esfuerzos de las columnas. Al comparar estos resultados con el estudio de Valle (2021), que examinó la cimentación de una vivienda multifamiliar en Chachapoyas, se observaron similitudes y divergencias. En la presente investigación, se determinó que la interacción suelo-estructura impactó considerablemente en

los asentamientos, sugiriendo su eficacia para mitigarlos en ciertas partes de la cimentación, crucial para garantizar la estabilidad a largo plazo.

Contrastando con el estudio de Valle (2021), se evidenciaron diferencias en la distribución de presiones en la cimentación. La presente investigación reveló un aumento del 71.73% en los esfuerzos de la columna Z-6, resaltando la influencia directa de la interacción suelo-estructura en la carga transmitida a la cimentación. Esto destaca la importancia de considerar esta interacción no solo para mitigar asentamientos, sino también para evaluar de manera precisa los esfuerzos en las columnas y asegurar un diseño estructural seguro y eficiente. Ambos estudios confirmaron la influencia significativa de la interacción suelo-estructura en el comportamiento de las cimentaciones, pero resaltaron diferencias en los detalles específicos. La variabilidad en los resultados subraya la complejidad de estos fenómenos y la necesidad de adaptar lo estudiado a las condiciones específicas de cada proyecto. Estos hallazgos proporcionan información valiosa para el avance en las prácticas de diseño sísmico y la mitigación de riesgos en estructuras aporticadas.

## V. CONCLUSIONES

- i. En la investigación presentada, se llegó a la conclusión general de que la respuesta sísmica de un edificio aporticado es influenciada por la interacción suelo estructura con el modelo dinámico de la norma rusa SNIP2.02.05-87, teniendo variaciones resaltantes en las distorsiones de entrepiso con un incremento de hasta el 22.88%, otra variación más significativa es en los asentamientos de la cimentación con una reducción de hasta el 95.65% y un incremento de hasta el 71.73% en los esfuerzos de la cimentación, con respecto al 2do modelo de análisis tradicional.
- ii. Al considerar los efectos de interacción suelo estructura se observó variaciones en los periodos de vibración, en el primer modo un incremento del 2.96%, en el 2do modo un incremento del 2.24% y el mayor incremento en el 3er modo con el 4.03%; por otro lado, en las distorsiones de entrepiso en la dirección X se observó un incremento de hasta el 11.56% en el nivel 1, en la dirección Y un incremento del 22.88% en el primer nivel. Con respecto al cortante basal no hubo grandes variaciones encontrándose que, en la dirección X se observó un incremento del 0.98% y en la dirección Y un incremento del 1.76%.
- iii. Los resultados de la investigación confirman que la interacción suelo estructura influye en el análisis estructural de un edificio aporticado, ya que se ha encontrado que en las fuerzas internas existe una variación significativa entre ambos modelos. Para el caso de las fuerzas axiales se observó solo un incremento del 0.64% respecto al modelo empotrado en la columna 3F, sin embargo, en las fuerzas cortantes se observó un incremento del 10.16% en la columna 3C; con respecto a los momentos flectores se obtuvo un incremento del 6.39% en la columna 3F, con respecto a los momentos torsores se obtuvo un incremento del 11.95% respecto al modelo de base empotrada.
- iv. En cuanto a la influencia de la interacción suelo estructura en el comportamiento de la cimentación, se determinó una influencia considerable al tener una disminución de los asentamientos del 92.65% en la zapata Z-6 y un incremento del 71.73% de los esfuerzos en la columna Z-6.

## VI. CONFLICTO DE INTERESES

En el desarrollo del presente estudio se aplicó fundamentos como la ética, respeto y autonomía. Todas las citas y referencias bibliográficas fueron citadas de acuerdo al estilo APA 7ma edición. Asimismo, todas las consideraciones indicadas en la guía de elaboración de artículos científicos, algunos de los aspectos éticos generales que se aplicarían a el artículo fueron:

- Honestidad en la Presentación de Resultados, el artículo se asegura de presentar de manera honesta y precisa los resultados conseguidos durante el proceso de estudio.
- Declaración de Conflictos de Intereses, se declara que no existen conflictos de intereses que pueda afectar en los diferentes resultados de los indicadores planteados o en la respectiva interpretación de hallazgos.
- Uso Adecuado de Fuentes y Referencias, el autor declara haber citado y referenciado adecuadamente las fuentes utilizadas durante la investigación para proteger los derechos de autor y evitar plagios.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Ali, T., Nour Eldin, M., & Haider, W. (2023). The Effect of Soil-Structure Interaction on the Seismic Response of Structures Using Machine Learning, Finite Element Modeling and ASCE 7-16 Methods. *Sensors, Vol 23*(4). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s23042047>
- Arias Gonzales, J. L. (2020). *Proyecto de Tesis Guía para Elaboración* (Primera ed.). Arequipa, Perú.
- Avilés , J., & Pérez Rocha, L. E. (2004). Bases para las nuevas disposiciones reglamentarias sobre interacción dinámica suelo-estructura. *Revista de Ingeniería Sísmica*(71), 1-36. <https://doi.org/https://doi.org/10.18867/iris.71.35>
- Ayala Omaña, R., Delgadillo Santander, A., & Ferrer Oropeza, C. (2017). Amenaza sísmica en Latinoamérica. *Revista Geográfica Venezolana, 258-262*.
- Baban, B., Lars, A., Wichtmann, T., & Prada-Sarmiento, L. (2023). Soil-structure interaction: A state-of-the-art review of modeling techniques and studies on seismic response of building structures. *Built Environ, Volume 9*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1120351>
- Bapir, B., Abrahamczyk, L., Wichtmann, T., & Prada-Sarmiento, L. (2023). Soil-structure interaction: A state-of-the-art review of modeling techniques and studies on seismic response of building structures. *Frontiers in Built Environment*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1120351>
- Baytan Ozmen, H., & Gül Tarakçı, N. (2022). Effect of soil and foundation stiffness on the seismic behavior of mid-rise RC buildings. *Research on Engineering Structures & Materials, Vol 8*(2), 385-402. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17515/resm2022.380st0219>
- Bazán, E., & Meli, R. (2002). *Diseño Sísmico De edificios*. México: LIMUSA Noriega Editores.
- Bernal Torres, C. A. (2010). *Metodología de la Investigación* (Tercera ed.). Pearson.
- Deepashree R, S Kavitha, MamathaP, & Vishal B V. (2020). Evaluation of the effects of soil structure interaction on a multistorey rc building. *First International Conference on Advances in Physical Sciences and Materials*. <https://doi.org/doi:10.1088/1742-6596/1706/1/012136>
- Farajian, M., Khodakarami, M., & Kontoni, D.-P. (2017). Evaluation of Soil-Structure Interaction on the Seismic Response of Liquid Storage Tanks under Earthquake Ground Motions. *Computation, 1-12*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/computation5010017>
- Garcia-Cruz, M., Bentob, R., Durand Neyra , P., & Esteban, A. (2022). Analysis of the soil structure-interaction effects on the seismic vulnerability of mid-rise RC buildings in Lisbon. *Structures, Vol 38, 599-617*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.02.024>
- Guerdouh, D., & Khalfallah, S. (2019). Soil-structure interaction effects on the seismic performance of frame structures. *Revista de la Construcción, 349-363*. <https://doi.org/10.7764/RDLC.18.2.349>
- Hernández Columbié, V., & Zayas Núñez, P. M. (2022). Incidencia de la interacción dinámica suelo – estructura en puentes de carretera. *Revista Científica de FAREM-Estelí, 5-25*. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/farem.v11i3.14890>
- Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta ed.). México: McGraw-Hill/ Interamericana Editores S.A.
- Joanicjusz, J., Katarzyna, Ł., & Anna, O. (2017). Structural Analysis as an Instrument for Identification of Critical Drivers of Technology Development. *ScienceDirect, 474-481*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.137>
- M Munirwansyah, R P Munirwan, M Sungkar, & Z Melinda. (2019). The effect of Soil-structure interaction on Multi-Storey building resonance and Dynamic Shear modulus for Pidie

- Jaya Aceh earthquake. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/523/1/012038>
- McCormac, J., & Brown, R. (2017). *Diseño de Concreto Reforzado*. Ciudad de México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México.
- Mehraj Wani, F., Vemuri, J., Rajaram, C., & Babu R, D. (2022). Effect of soil structure interaction on the dynamic response of reinforced concrete structures. *Natural Hazards Research, Volume 2(4)*, 304-315. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nhres.2022.11.002>
- Murga Yupanqui, K., & Tafur Molina, J. (2021). *Relación del efecto P-Delta en el comportamiento sísmico de edificios de concreto armado, Cajamarca 2021*. Universidad Privada Del Norte. <https://doi.org/https://hdl.handle.net/11537/30013>
- Norma E.030 Diseño Sismorresistente. (2020). *Primera*. Lima, Perú.
- Norma E.050 Suelos y Cimentaciones. (2020). *Primera*. Lima, Perú.
- Ortega García, J. E. (2015). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima, Perú: Empresa Editora MACRO EIRL.
- Puentes Hernandez, L. (2020). *Generación de dos cartillas prácticas-aplicativas para la clasificación de suelos por método AASHTO y sistema unificado a partir de la recopilación de información lograda en el ámbito de pregrado de la universidad cooperativa de Colombia, sede Villavicenc*. Bogotá: Universidad Cooperativa de Colombia.
- Terzi, V., & Athanatopoulou, A. (2021). Influence of soil structure interaction effects on the real elastic axis of asymmetric buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106775>
- Villarreal Castro, G. (2009). *Análisis Estructural*. Lima, Perú: Asamblea Nacional de Rectores.
- Villarreal Castro, G. (2009). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas*. Lima, Perú: Asamblea Nacional de Rectores.
- Villarreal Castro, G. (2017). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con platea de cimentación*. Lima, Perú: Editora & Imprenta Gráfica Norte S.R.L.
- W.M. Huang, J.C. Wang, Z.X. Yang, & R.Q. Xu. (2022). Analytical method for structural analysis of segmental lining interaction with nonlinear surrounding soil and its application in physical test interpretation. *Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 127(6)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tust.2022.104601>

## Este preprint fue presentado bajo las siguientes condiciones:

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