

Interacción suelo-estructura en la respuesta sísmica de una edificación para uso de oficinas con zapatas aisladas en suelo blando e intermedio de la región de Ica

Soil-structure interaction in the seismic response of a building for office use with isolated footings in soft and intermediate soil in the Ica region

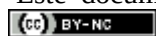
Sleyther Arturo De la Cruz-Vega^{1,*}, Sonia Justina Astocaza-Camargo², Esther Amalia Astocaza-Camargo²

¹Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura. Universidad Cesar Vallejo. Av. Argentina 1795, Callao. Lima, Perú.

²Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional San Luis Gonzaga. Urb. San José C-9. Ica, Perú.

*Autor de correspondencia: sleyther@ucvvirtual.edu.pe

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 12 octubre 2021 **Aceptado:** 13 diciembre 2021 **Publicado:** 15 enero 2022

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo cuantificar las variantes de la respuesta sísmica de una oficina típica de concreto armado con 5 niveles, afectada por la flexibilidad del sistema suelo-estructura (DISS), mediante modelos constitutivos de D.D. Barkan-O.A. Savinov y la Norma Rusa SNIP 2.02.05-87, que incorporan los conceptos de la flexibilidad y presión estática del suelo como un sistema de resortes en la cimentación superficial para el análisis modal espectral de acuerdo a la norma técnica peruana de diseño sismorresistente E.030-2018. Así mismo, la cimentación está constituida por zapatas aisladas tanto para un perfil blando (S3) como intermedio (S2) en la región de Ica, donde se llevó a cabo el estudio de mecánica de suelos (EMS) para cada tipo de perfil respectivamente. Los resultados obtenidos con DISS para las fuerzas internas máximas mostraron un incremento de las fuerzas cortantes de hasta 45,87% y 43,87%, reducción en las fuerzas axiales de hasta 55,60% y 25,56% y para los momentos flectores una reducción de hasta 18,66% y 22,41% sobre el suelo blando e intermedio respectivamente. Posteriormente se obtuvo un incremento del periodo de vibración de hasta 43,34% y 36,63% en el suelo blando e intermedio. Finalmente, se obtuvo un incremento de las distorsiones de entrepiso de hasta 84,48% para suelo blando y 65,82% para suelo intermedio con respecto al modelo estructural con fijación empotrada.

Palabras clave: Interacción suelo estructura, periodo de vibración, distorsión de entrepiso, fuerzas internas máximas, comportamiento sismorresistente

Abstract

The present work was focused on quantifying the variants of the seismic response of a typical reinforced concrete office with five levels affected by the flexibility of the soil-structure system (DISS), through constitutive models of D.D. Barkan-O.A. Savinov and the Russian Standard SNIP 2.02.05-87, which incorporate the concepts of flexibility, static pressure of the soil as a system of springs in the superficial foundation for the spectral modal analysis according to the Peruvian technical standard for Seismic-resistant design E.030-2018, likewise the foundation is made up of isolated footings for both a soft (S3) and an intermediate (S2) profile in the Ica region, of which the soil mechanics study (EMS) was carried out for each type of profile respectively. The obtained results with DISS for the maximum internal forces show an increase in shear forces of up to 45.87%

and 43.87%, reduction of axial forces of up to 55.60% and 25.56%, and for the bending moments a reduction of up to 18.66% and 22.41% on soft and intermediate soil respectively; then an increase of the vibration period of up to 43.34% and 36.63% on soft and intermediate soil was obtained. Finally, an increase in mezzanine distortions of up to 84.48% for soft soil and 65.82% for intermediate soil was obtained compared to the structural model with recessed fixation.

Keywords: Soil structure interaction, vibration period, mezzanine distortion, maximum internal forces, earthquake resistance

1. Introducción

Según varios estudios, existen altos valores de peligrosidad sísmica a lo largo de la costa central y sur del Perú [1]. En algunos casos, los impactos sísmicos dependen en primer lugar del factor del suelo, ya que pueden acrecentar las ondas sísmicas [2]. El territorio peruano en todas sus regiones cuenta con una variada clasificación de suelos con propiedades físicas y acciones dinámicas muy distintas. Dado que los suelos imponen desafíos importantes a la seguridad y confiabilidad de las infraestructuras civiles, los enfoques de análisis se pueden utilizar para resolver problemas científicos claves que están estrechamente vinculados con la mecánica de suelos [3], por lo que es necesario realizar estudios geotécnicos. Como consecuencia, existe un peligro y del mismo modo es necesario tomar medidas preventivas en daños estructurales importantes. La ingeniería sísmica basada en el desempeño es una evaluación probabilística del riesgo y daño de la construcción que se utiliza con frecuencia para cuantificar las pérdidas inducidas por terremotos de elementos estructurales y no estructurales [4]. Adicionalmente, existen muchos métodos de análisis y dispositivos que garantizan el desempeño óptimo sismorresistente de una superestructura. Sin embargo, estos no toman en consideración la influencia de la flexibilidad del suelo en caso que lo presente. Es decir, la respuesta estructural ante un sismo de un edificio de concreto armado se ve afectada por la interacción de tres componentes: el suelo, la cimentación y la estructura [5]. Por tal razón, es de suma importancia tomar en consideración una exigencia estructural tanto en el diseño y análisis sísmicos de las edificaciones como también en el aspecto constructivo. Además, es fundamental que se realicen estudios e investigaciones sobre la influencia del fenómeno Interacción Suelo-Estructura, con el objetivo de perfeccionar las metodologías y técnicas de análisis sismorresistente. En la Figura 1 se muestra el mapa del Perú con sus zonas sísmicas.

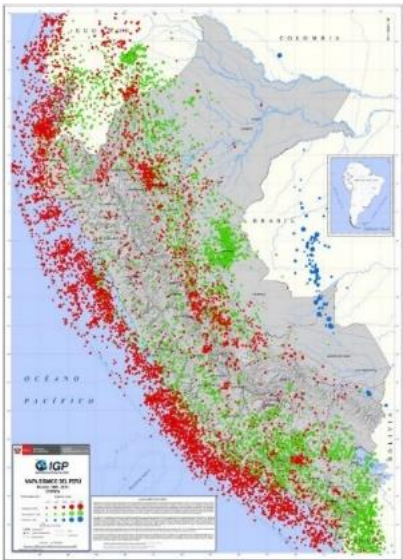


Fig.1 Mapa de actividades Sísmicas en el Perú, según el IGP (1960-2019)

En términos prácticos para comprender la DISS, se deben tener en claro conceptos básicos de elastodinámica de las ondas sísmicas, dinámica de suelos y la dinámica estructural. El comportamiento sismorresistente de una edificación es muy variado y complejo, debido a que depende de varios factores, como aquellos inherentes a la estructura, excitación a la que se encuentre sometida y su medio externo. El efecto de la interacción suelo-estructura para una edificación a porticada cimentada con zapatas aisladas y con variaciones geométricas y geotécnicas para un perfil S1, S2 y S3, refleja que mientras el suelo es más desfavorable o blando, así como mientras mayor altura presente, mayor es el efecto o influencia de la DISS [6]. A partir de un análisis de las variaciones de las transmisiones del comportamiento estructural de una edificación regular convencional con sótano, modelado como viga cortante, se obtiene que las respuestas dinámicas como la fuerza cortante y distorsión de entrepiso dependen de la zona de estudio basados en el rango de comportamiento elástico [7]. De acuerdo a esto, el factor suelo como medio externo es de vital importancia en el análisis dinámico estructural, y las propiedades dinámicas del suelo dependen fundamentalmente del estado de esfuerzos del mismo y del nivel de deformación inducido. Las presiones del suelo y las fuerzas asociadas producidas por un sismo dan una incidencia vertical de ondas de cortante. Es decir, en suelos blandos y especiales conlleva un error modela la cimentación como empotramiento perfecto; todo esto debido a que los valores del módulo cortante máximo y secante ($G_{\max}$ y $G_{\sec}$) son pequeños [8], el cual debe ser idealizado como un resorte para representar el comportamiento dinámico suelo-estructura, en lo posible mediante esquemas sencillos. Existen muchos algoritmos de solución, y para ello el esquema interacción suelo-estructura debe ser estudiado de una forma asequible o básica, considerando la sinopsis del péndulo invertido con masas puntuales a nivel de entrepisos, así como aplicar la noción de flexibilidad elástica en la base de cimentación [9].

El objetivo de este trabajo es cuantificar las modificaciones de la respuesta sísmica de una oficina típica de concreto armado con 5 niveles, afectada por la flexibilidad del sistema suelo-estructura para suelo blando e intermedio de la región de Ica, Perú. Para tal efecto, se determinan los periodos de vibración, distorsión de entrepiso y fuerzas internas, entendiéndose estas últimas como fuerza cortante, fuerza axial y momento flector.

2. Materiales y Métodos

Para dar solución al problema planteado, es necesario hacer simulaciones matemáticas que modelen el comportamiento aproximado de la realidad del suelo, a partir de seleccionar correctamente los modelos constitutivos [10]. Con la utilización del modelo dinámico de la Norma SNIP 2.02.05-87 en el efecto recíproco del suelo-estructura, se obtienen resultados más próximos a la norma técnica E.030, tomando como enfoque la rotación en la dirección de análisis [11], el cual mediante seis coeficientes equivalentes de rigidez del suelo aplicados en el centro geométrico de la cimentación permite establecer la interacción del suelo con la estructura. Para ello se emplea la ecuación (1) que permite obtener los coeficientes de traslación y la ecuación (2) para los coeficientes de rotación.

$$K_x = C_x \cdot A, K_\psi = C_\psi \cdot I_\psi \quad (1)$$

$$K_{\phi x} = C_{\phi x} \cdot I_{\phi x}, K_z = C_z \cdot A \quad (2)$$

Para el cálculo de C_z (T/m^3), se tiene b_0 (coeficiente m^{-1} de acuerdo al perfil del suelo) y E (módulo de deformación del suelo de fundación T/m^3). Se determina mediante la ecuación (3) de la siguiente manera:

$$C_z = b_0 x E \left(1 + \sqrt{\frac{A_{10}}{A}} \right) \quad (3)$$

Los valores de C_x , C_φ y C_ψ se determinan mediante la ecuación (4).

$$C_x = 0,7 \times C_Z, \quad C_\varphi = 2,0 \times C_Z, \quad C_\psi = C_Z \quad (4)$$

El modelo fundamentado por D.D. Barkan-O.A Savinov, es más empleado debido a que considera el efecto de la interacción de la cimentación-suelo de fundación como un proceso de oscilaciones intencionadas y también este modelo es teórico-experimental, basado en la interacción de la cimentación con la base de fundación [12]. Así mismo, se sustenta en que los coeficientes C_x , C_y y C_φ son dependientes de la presión estática del suelo ρ y estas mismas son transmitidas desde la cimentación hasta la base de fundación. De esta manera se definen los coeficientes de compresión y desplazamiento de la base, mediante las ecuaciones (5) y (6).

$$K_x = C_x \times A \quad (5)$$

$$K_\varphi = C_\varphi \times I, \quad K_z = C_z \times A \quad (6)$$

Para el cálculo de C_Z (T/m^3), se tienen a, b como dimensiones en los ejes, C_o (coeficiente inicial de balasto) y D_o valor experimental dependiente del coeficiente de Poisson μ y del módulo de elasticidad del suelo E_s determinado experimentalmente para ρ igual a ρ_o . (Ecuaciones (7)-(9)).

$$C_Z = C_o \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta.A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}} \quad (7)$$

$$C_x = D_o \left[1 + \frac{2(a+b)}{\Delta.A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}} \quad (8)$$

$$C_\varphi = C_o \left[1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta.A} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_o}} \quad (9)$$

Además, se tiene que D_o (coeficiente inicial de balasto) y E (módulo de deformación del suelo de fundación T/m^3), se determina mediante la ecuación (10) de la siguiente manera:

$$D_o = \frac{1-\mu}{1-0.5\mu} \cdot C_o \quad (10)$$

En síntesis, Los principales efectos de interacción, expresados por la modificación del periodo fundamental, el amortiguamiento y la ductilidad, conducen a respuestas de la estructura mayores o menores que las que sufriría en su condición de base rígida [13]. La presente investigación plantea un método científico del tipo aplicada con un nivel de investigación explicativa, debido a que busca esclarecer la influencia en la respuesta sísmica de la edificación bajo los métodos y procesos establecidos. El diseño de investigación es cuasi-experimental, debido a que implica contrastar los resultados de una variable independiente que es el foco de evaluación. En este caso, son los modelos constitutivos de interacción suelo-estructura y la variación del perfil del suelo, con respecto a otra variable dependiente que sin un tratamiento real alternativo como el comportamiento sismorresistente del modelo convencional empotrado y de base flexible, con el fin de determinar su influencia. La muestra de investigación es no probabilística y dirigida.

Se concretó con el estudio mecánico y geofísico (EMS) en los perfiles de suelo blando (S3) e intermedio (S2) identificados en la Urbanización El sol de Ica, distrito de Ica, departamento de Ica y en la ciudad de Nazca, Distrito de Nazca, departamento de Ica respectivamente. Luego se realizó el modelo tridimensional de la edificación mediante el programa de análisis ETABS v16.2.1 y el análisis dinámico modal espectral (AMDE) de acuerdo a la Norma Peruana de Diseño

sismorresistente 2018 “M1”, con el fin de determinar el nivel de influencia de la flexibilidad del suelo en el comportamiento sismorresistente de la estructura. Para tal efecto, se emplearon los modelos constitutivos, Modelo dinámico SNIP 2.02.05-87 (Rusia) “M2” y D.D. Barkan-O.A Savinov “M3”, los cuales toman en consideración el módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, y la presión estática del suelo de fundación. La edificación base en estudio, que es para ambos perfiles de suelo, estuvo conformada por un sistema dual de concreto armado para uso de oficinas que consta de 5 niveles y con zapatas aislada como tipo de cimentación. Esta configuración estructural es típica de la región de Ica.

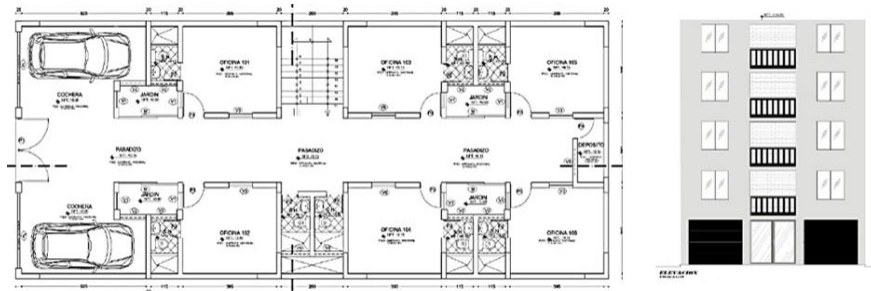


Fig.2 Configuración geométrica y estructural de la oficina en estudio

La DISS se genera mediante una acción dinámica entre la base de fundación y la estructura, causada por las fuerzas dinámicas externas, lo cual influye en el estado esfuerzo-deformación de la edificación, lo que significa que los efectos de la flexibilidad relativa del esquema suelo-cimentación generan alteraciones en la respuesta dinámica de la edificación. También se estima que el impacto del DISS depende de la relación frecuencia fundamental del edificio del suelo [11].

De acuerdo a la normativa peruana, el modelo estructural de una edificación con base empotrada al suelo, concierne el desplazamiento lateral relativo de la estructura propiamente dicha, como se muestra en la Figura 3a. Por otro lado, en la Figura 3b se considera la flexibilidad del suelo, mediante unos coeficientes equivalentes de rigidez representados como resortes, en donde el desplazamiento lateral de la estructura depende también del comportamiento dinámico del suelo de fundación.

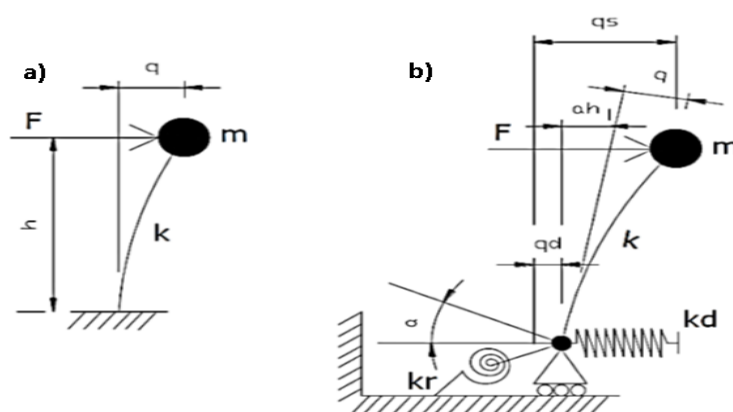


Fig.3 Esquema de interacción suelo-estructura

La estructura con base o suelo de fundación flexible ante fuerzas externas, presenta una alteración en el movimiento del suelo debido la presencia de la cimentación con una rigidez mayor en contraste al suelo. Por ende, existe un desplazamiento relativo de la cimentación con respecto al suelo [4].

Existen condiciones donde evaluar esta influencia puede traducirse en pocos beneficios desde el punto de vista de comportamiento, pero existen otros casos particulares donde incorporar la interacción suelo-estructura al diseño, implica cambios importantes en la respuesta de la edificación desde el punto de vista de rigidez y resistencia [13].

3. Resultados y Discusión

Aspectos geotécnicos

Se realizaron cuatro calicatas y un ensayo SPT alcanzando una profundidad de hasta cuatro metros aproximadamente. Además, dos ensayos de refracción sísmica y dos MASW de hasta 30 m para cada perfil de suelo en análisis. La Tabla 1 refleja los resultados obtenidos de la capacidad admisible de los perfiles en estudio.

Tabla 1. Capacidad admisible de los suelo de estudio

Ensayo	Prof. (m)	Perfil tipo S3 (Blando)		Cap. Admisible (Kg/cm2)
		Clasificación		
		SUCS	AASHTO	
SPT-1	1,50	ML	A-4 (4)	1,590
	1,80	SM	A-2-4 (0)	1,810
	2,00	ML	A-4 (8)	2,000
	4,00	SM	A-4 (0)	>2,00
Ensayo	Perfil tipo S2 (Intermedio)			
SPT-1	2,50	SM	A-2-4 (0)	1,93
	2,80	SM	A-2-4 (0)	2,14
	3,00	SM	A-2-4 (0)	2,29
	4,00	CP	A-1-b (0)	<2,29

En la Figura 4, se representa el perfil estratigráfico general representativo para ambos perfiles del suelo con sus propiedades, como Es (módulo de elasticidad del suelo) en Ton/m², Vs (velocidad de las ondas “S”) y Vp (Velocidad de las ondas “P”) en m/s.

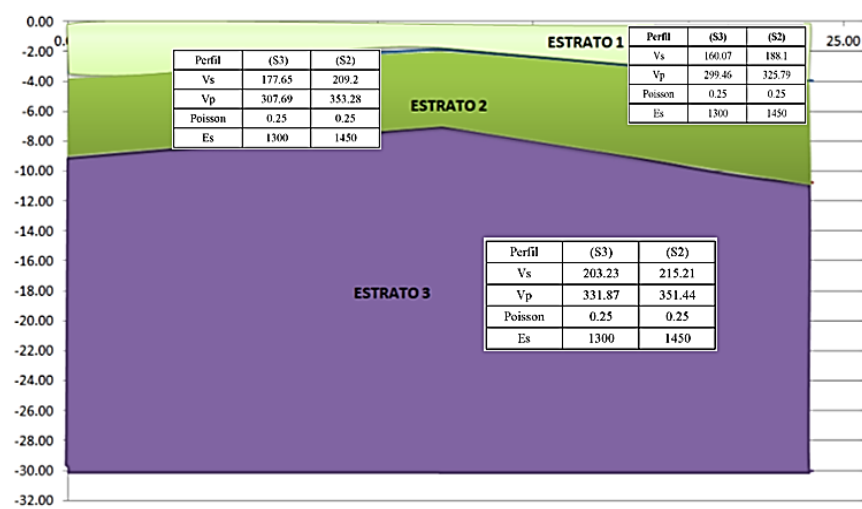


Fig.4 Propiedades de los perfiles del suelo en estudio

Fuerzas internas

La respuesta sísmica de la estructura, considerando la base empotrada (M1) y base flexible a través de los modelos dinámicos constitutivos SNIP 2.02.05-87 (M2) y de D.D. Barkan-O. A Savinov (M3) arrojaron los resultados que se muestran en la Tabla 2. Según lo referido, es evidente que considerando el fenómeno de interacción suelo estructura para el perfil Blando (S3), de acuerdo a la Figura 5a, hay una reducción de hasta 55,60% de la fuerza Axial (Fmáx.) y de hasta 18,66% de los momentos flectores (Mmáx.), con una amplificación de hasta 45,87% de la fuerza cortante (Vmáx.) con respecto al modelo de base empotrada (M1). Para el perfil intermedio (S2) se presenta una reducción de hasta 25,56% de las fuerzas axiales y de hasta 22,41% de los momentos flectores, con una amplificación de hasta 43,61% de la fuerza cortante comparado con el modelo convencional empotrado (M1) representado en la Figura 5b.

Tabla 2. Fuerzas Internas de la estructura en los perfiles de suelo de estudio

Fuerzas internas	Perfil de suelo		Modelo con base empotrada (M1)	Modelo con base flexible		% Variación promedio (Δ)
				(M2)	(M3)	
Fuerzas Cortantes Máximas (Ton)	S3	SXX	9,74	12,71	11,18	22,59
		SYX	20,67	33,8	26,4	45,87
	S2	SXX	9,46	11,11	13,81	31,63
		SYX	17,28	25,77	23,87	43,61
Fuerzas Axiales Máximas (Ton)	S3	SXX	35,11	14,27	16,90	-55,60
		SYX	32,48	35,91	33,81	7,33
	S2	SXX	20,51	13,58	16,95	-25,56
		SYX	23,55	15,71	20,71	-22,67
Momentos Flectores Máximas (Ton.m)	S3	SXX	46,36	37,41	38,01	-18,66
		SYX	144,58	114,75	135,24	-13,54
	S2	SXX	44,32	25,59	43,19	-22,41
		SYX	121,92	91,11	111,93	-16,74

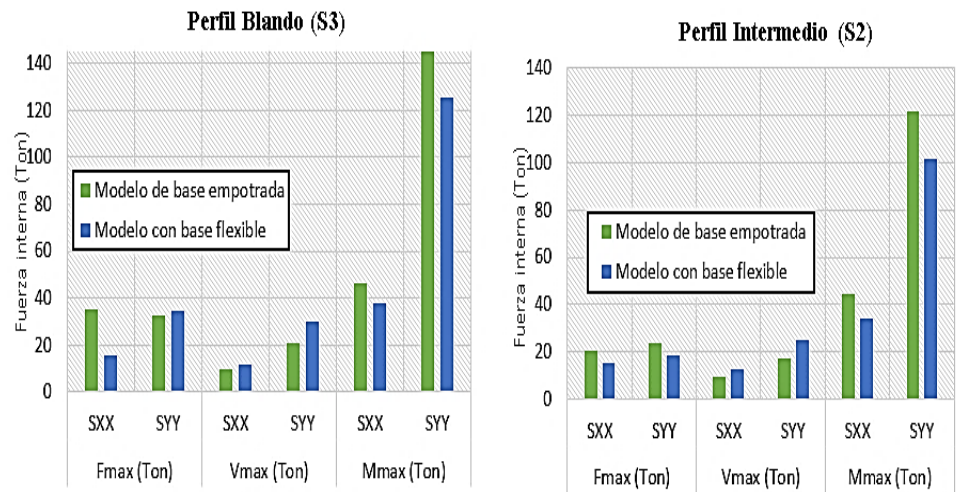
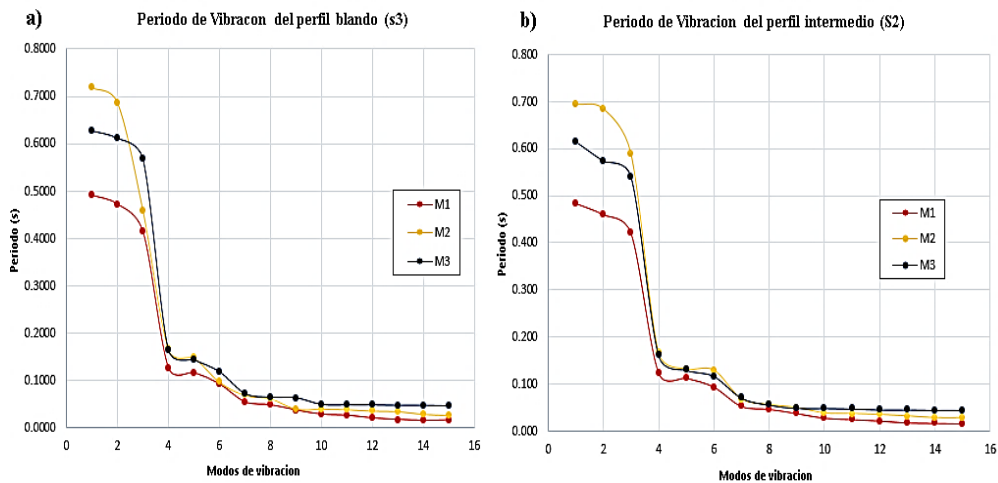


Fig.5 Variación de las fuerzas internas con DISS para los perfiles de suelo en estudio

Periodo de Vibración

Los primeros periodos de vibración obtenidos se desarrollaron en la dirección de análisis “X”, tanto para el perfil blando (S3) como el intermedio (S2). Así mismo, la sumatoria de la masa participativa para ambos modelos de análisis con perfiles de suelos en estudio fue superior al 90%, cumpliéndose lo establecido en la normativa peruana de Diseño sismorresistente E.030. De lo representado en la Tabla 3 y Figura 6a, se puede apreciar que para el perfil blando (S3) ilustra un incremento de hasta 43,34% del periodo de vibración con respecto al modelo de base empotrada (M1). Del mismo modo, en la figura 6b se ilustra un incremento de hasta 36,63% del periodo de vibración con respecto al modelo de base empotrada (M1).

Tabla 3. Incremento de los periodos de vibración en los perfiles de suelo en estudio								
Periodo	Modelo con base empotrada (M1)		Modelo con base flexible				$\Delta_{s2}\%$	$\Delta_{s3}\%$
			(M2)		(M3)			
	S2	S3	S2	S3	S2	S3		
Tx	0,484	0,491	0,69	0,68	0,61	0,68	35,12	34,22
Ty	0,460	0,472	0,68	0,71	0,57	0,71	36,63	43,34



Distorsión de entrepiso

Con respecto a la distorsión de entrepiso en la dirección de análisis “X”, se realizaron los modelos espaciales considerando el fenómeno de la DISS tanto en el modelo (M2) como (M3), que permiten la acción recíproca del suelo con la estructura. Para el perfil blando S3, se tiene una amplificación de hasta un 84,48 % y para el perfil intermedio S2 de hasta un 65,82% con respecto a las distorsiones de entrepiso del modelo con base empotrada (M1), lo que significa que existe una mayor influencia de la DISS en el perfil blando S3 que en perfiles más resistentes como S2 para una misma superestructura. Además, para ambos casos se puede apreciar en la Figura 7 (a y b) que estos valores en modelos con base flexible superan el máximo desplazamiento relativo de entrepiso ($\Delta=0,007$) permitido en la normativa técnica peruana de diseño sismorresistente.

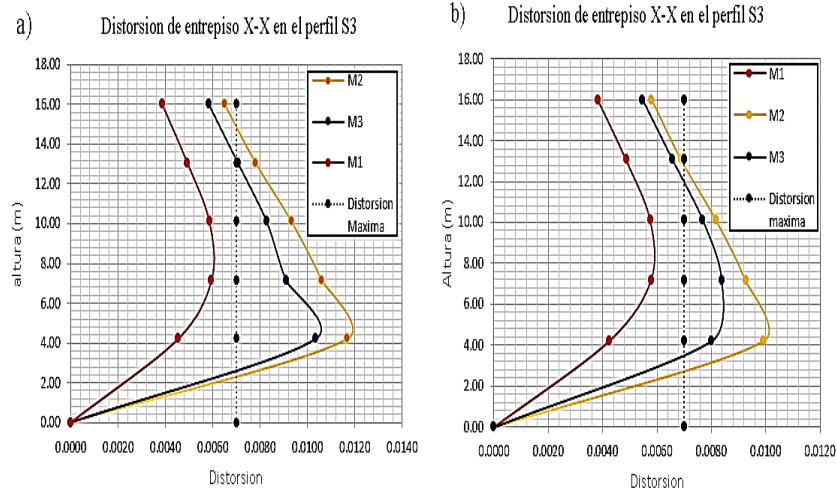


Fig.7 Incremento de la distorsión de entrepiso X-X en los perfiles de suelo en estudio con DISS

Tabla 4. Incremento de las distorsiones de entrepiso X-X con DISS en los perfiles de estudio

Nivel	h(m)	Modelo con base empotrada (M1)		Modelo con base flexible			
		S3		M2		M3	
		Δx	Δx	$\Delta x \%$	$\Delta x \%$	$\Delta x \%$	$\Delta x \%$
Nivel 5	16,00	0,00386	0,00382				
Nivel 4	13,05	0,00493	0,00487				
Nivel 3	10,10	0,00585	0,00576	84,48	65,82	63,42	48,90
Nivel 2	7,15	0,00595	0,00579				
Nivel 1	4,20	0,00454	0,00425				

Al evidenciarse el fenómeno de interacción suelo-estructura, la distorsión de entrepiso en la dirección de análisis “Y” presentó un incremento significativo, tanto para el perfil blando (S3) como intermedio (S2). Para el perfil blando (S3), se tiene una amplificación de hasta 117,43% y para el perfil intermedio (S2) presenta una amplificación de hasta 90,86% con respecto a las distorsiones del modelo con base empotrada (M1). Asimismo, estos valores ilustrados en la Figura 8 (a y b) superan el máximo desplazamiento relativo de entrepiso ($\Delta=0,007$) permitido en la normativa técnica peruana de Diseño sismorresistente.

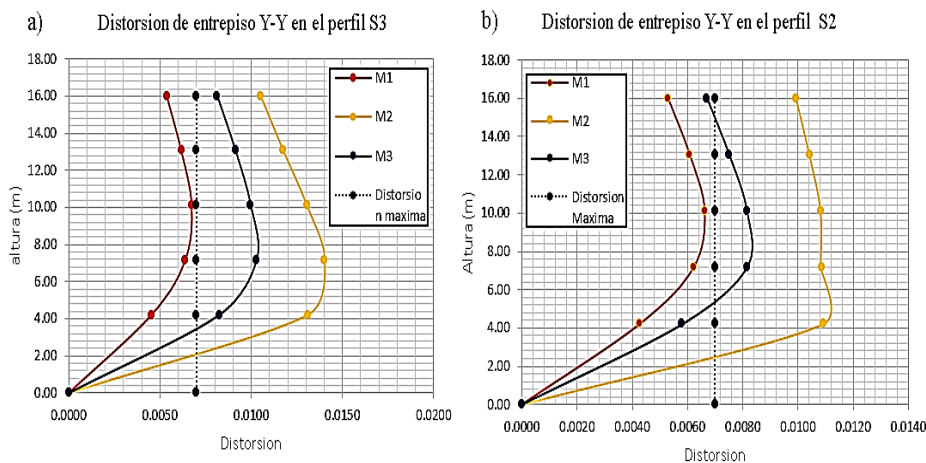


Fig.8 Incremento de la distorsión de entrepiso Y-Y en los perfiles de suelo en estudio con DISS

Tabla 5. Incremento de las distorsiones de entrepiso Y-Y con DISS en los perfiles de estudio

Nivel	h(m)	Modelo con base empotrada (M1)		Modelo con base flexible			
				M2		M3	
		S3	S2	S3	S2	S3	S2
		Δy	Δy	$\Delta y \%$	$\Delta y \%$	$\Delta y \%$	$\Delta y \%$
Nivel 5	16,00	0,00537	0,00529				
Nivel 4	13,05	0,00618	0,00608				
Nivel 3	10,10	0,00675	0,00662	117,43	90,86	57,87	28,08
Nivel 2	7,15	0,00640	0,00621				
Nivel 1	4,20	0,00454	0,00426				

4. Conclusiones

La alteración de las fuerzas internas máximas en el comportamiento sismorresistente de la oficina objeto de estudio considerando la interacción suelo-estructura se presenta primeramente para la fuerza cortante sobre el suelo blando (S3) con un de incremento promedio de hasta 45,87%. De igual manera, para el suelo blando (S2) presenta un incremento promedio de hasta 43,61% en la dirección de análisis “X”. En segundo lugar, se tiene a las fuerzas axiales para el suelo blando (S3) con un decrecimiento promedio de 55,60% y para el suelo intermedio (S2) de hasta 25,56%. Por último, los momentos flectores para el suelo blando (S3) presentaron un decrecimiento promedio de hasta 18,66% y para el suelo intermedio (S2) de hasta 22,41%. Con respecto a la fluctuación de los periodos de vibración, para el suelo blando (S3) se tiene un incremento de hasta 43,34% y para el suelo intermedio (S2) un incremento de hasta 36,63%. Finalmente, el rango de la distorsión de entrepiso para el suelo blando (S3) tuvo un incremento promedio de hasta 87,65% y para el suelo intermedio (S2) de hasta 59,47%. A partir de los resultados obtenidos se concluye que la flexibilidad del suelo blando e intermedio, en especial de tipo blando, presenta una variación importante en el comportamiento sismorresistente de la superestructura en cuestión.

Referencias

- Ocola, L. *Peligro, vulnerabilidad, riesgo y la posibilidad de desastres sísmicos en el Perú*. Revista Geofísica, 2005. **61**(1): p. 81-125.
- Tavera, H. *Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú*. 2014. Perú. ISBN: 978-612-45795-9-2.
- Wen-Chieh, C. *Fundamental Challenges for Civil Infrastructures in Problematic and Unsaturated Soils, Breakthroughs, and Opportunities*. Geotechnics, 2021. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30927.10400>.
- Fernández, L., *Influencia de la interacción dinámica suelo-estructura en la respuesta dinámica de las estructuras*. Construcción y tecnología en concreto, 2013. **3**(2): p. 20-23.
- Araca, F., Gómez, L, Cahui, A, Marín, G., *Influence of soil-structure interaction on the behaviour of houses framed with isolated footings in the city of Juliaca*, 2020. **7**(2): p. 70-81. DOI: <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2020.007.02.070>.
- Fernández, L., Avilés, J., *Efectos de interacción suelo-estructura en edificios con planta baja blanda*. Ingeniería Sísmica, 2008. **79**(1): p. 71-90. DOI: <https://doi.org/10.18867/ris.79.27>.
- Avilés, J., Pérez, L., *Presiones dinámicas del suelo en lumbreras*. Ingeniería sísmica, 2011. **85**(1): p. 1-31.
- Villarreal, G., *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas*. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 2020. **25**(3): p. 311-332. DOI: <http://dx.doi.org/10.24133/riie.v25i3.1689>.

9. Morales, L., Espinosa, A., *Influencia de la interacción suelo estructura (ISE) de cimentaciones superficiales en suelos no cohesivos en el comportamiento estructural de una edificación de 8 pisos y un subsuelo*. Ingenio, 2020. 1(3): p. 5-26. DOI: <https://doi.org/10.29166/ingenio.v3i1.2391>.
10. Villareal, G., Cerna, M., Espinoza, U., *Seismic Interaction of soil-structure in buildings with limited ductility walls on foundation plates*. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 2021. 26(1): p. 153-178. DOI: <http://dx.doi.org/10.24133/riie.v26i1.1967>.
11. Fares, R., Santisi, M., *Response spectrum considering soil-structure interaction for buildings with shallow foundation*. Earthquake Engineering, 2018. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24558.87368>.
12. Mercado, J., Arboleda, L., Terzic, V., *Seismic Soil-Structure Interaction Response of Tall Buildings*. Geo-Congress, 2019. p. 118-128. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784482100.013>.
13. Villareal, G., Aguila, C., *Soil-structure interaction and its influence on the seismic response of RC buildings*. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 2021. 26(3): p. 426-471. DOI: <http://dx.doi.org/10.24133/riie.v26i3.2336>.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribución de los autores

Sleyther Arturo De la Cruz Vega. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0254-301X>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, supervisión, metodología y redacción del manuscrito.

Sonia Justina Astocaza Camargo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9111-7295>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, metodología y redacción del manuscrito.

Esther Amalia Astocaza Camargo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2795-2699>

Participó en el diseño de la investigación, conceptualización, metodología y redacción del manuscrito.