

COMPARACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL ENTRE DOS EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO DE CINCO NIVELES CON Y SIN INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA EN EL RANGO LINEAL

COMPARISON OF STRUCTURAL DESIGN BETWEEN TWO REINFORCED CONCRETE BUILDINGS OF FIVE LEVELS WITH AND WITHOUT SOIL-STRUCTURE INTERACTION IN THE LINEAR RANGE

Ing. Iván Franklin Guerrero Anagua ^{1*}\$

Recibido: Enero 7, 2023; Aceptado: Marzo 22, 2023

RESUMEN

Actualmente en Bolivia existe una guía para el diseño Sísmico de edificaciones el cual es (GBDS, 2020) en donde se encuentran la diferente aceleración sísmica máxima de suelo para diferentes regiones de Bolivia. Los ingenieros encargados del diseño estructural de edificaciones comúnmente analizan las edificaciones con apoyos empotrados o fijos en la base, para después llevar las reacciones de apoyo a un planilla o programa, para el diseño de los sistemas de cimentación y estimar los desplazamientos del suelo, obviando la rigidez y el amortiguamiento del suelo en el análisis sísmico de la edificación.

En este artículo se transformó el sistema de cimentaciones en resortes equivalentes, así como los señala la (GBDS, 2020) en su artículo 9.9, y se comparó, cuantificó la respuesta sísmica en el rango lineal, obteniendo resultados como un aumento de los periodos de vibración de la estructura, aumento de las cuantías de acero de refuerzo en columnas entre el (20% y 15%), un aumento de la cantidad de estribos por metro lineal entre (3% y 5%) en columnas y las derivas entre (1% y 14%) y una disminución de cortante basal hasta (15%) lo que afecta de forma directa el diseño estructural. Este estudio concluye que es necesario la inclusión de la interacción suelo estructura en el diseño estructural en el rango lineal.

Palabras claves: Respuesta Sísmica, Fundaciones, Interacción suelo estructura, Funciones de Impedancia, Rango Lineal.

ABSTRACT

Currently in Bolivia there is a guide for the seismic design of buildings which is (GBDS, 2020) where the different maximum ground seismic acceleration for different regions of Bolivia is found. Engineers in charge of the structural design of buildings commonly analyze buildings with embedded or fixed supports at the base, and then take the support reactions to a spreadsheet or program, for the design of foundation systems and estimate soil displacements, ignoring the stiffness and damping of the soil in the seismic analysis of the building.

In this article, the foundation system was transformed into equivalent springs, as indicated by the (GBDS, 2020) in its article 9.9, and the seismic response in the linear range was compared, quantified, obtaining results such as an increase in the periods of vibration of the structure, increase in the amounts of reinforcing steel in beams in the range of (7% to 25%) and columns between (29% and 39%), an increase in the number of stirrups per linear meter between (3% and 11%) in columns and between (5% and 45%) in beams and drifts between (1%

and 14%) and a decrease in base shear up to (20%), which directly affects the structural design . This study concludes that it is necessary to include the soil structure interaction in the structural design in the linear range.

Keywords: Seismic Response, Foundations, Soil Structure Interaction, Impedance Functions, Linear Range.

Citación: Iván F. Guerrero A., COMPARACIÓN DE DISEÑO ESTRUCTURAL ENTRE DOS EDIFICACIONES DE HORMIGÓN ARMADO DE CINCO NIVELES CON Y SIN INTERACCIÓN SUELO ESTRUCTURA EN EL RANGO LINEAL. Revista Científica EMINENTE 2023, 7-1: 27-40.

¹ Ingeniero Civil – Carrera de Ingeniería Civil - Unidad Académica del Trópico - Escuela Militar de Ingeniería

* Corresponde al Autor (correo electrónico: ifguerreroa@doc.emi.edu.bo).

\$ Dirección de contacto Investigador primer autor: Zona Temporal Calle Kapac Yupanqui esq. Molieri S/N - Telf.: (+591) 79716232 Cochabamba – Bolivia.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería estructural siempre busca la mejor manera de representar una estructura real en un modelo matemático para obtener la mejor aproximación a la realidad. La interacción suelo estructura es una de las muchas maneras de acercarse al comportamiento de una estructura real. Hay muchas formas de representar esta relación: puede ser estática o dinámica, lineal o no lineal, y las posibles combinaciones entre ellas (Zeevaert, 1980; Mejía Bermejo, 2017; Hernández-Velasco, 2013; Galicia y León, 2007; Villarreal, G. 2009). Para representar los desplazamientos del suelo y de la subestructura, es necesario calcular el sistema de cimentación, para sustituirlo por resortes equivalentes utilizando los conceptos de rigidez rotacional y traslacional (Uribe Escamilla, 2000; Weaver y Gere, 1990; López et al., 2019), que expresan que un elemento estructural se puede representar a través de sus coeficientes de rigidez rotacional y traslacional, como se muestra en las Ecuaciones (1) y (2).

$$F=K_T \cdot d \quad (1)$$

$$F=K_R \cdot \theta \quad (2)$$

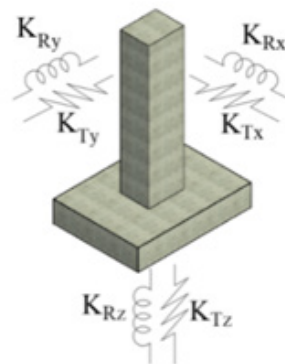
Donde F es la fuerza aplicada sobre un elemento estructural; K_T es la constante de rigidez traslacional del elemento; d es el desplazamiento en la dirección de la fuerza; M es el momento de torsión o flexión aplicado sobre el elemento estructural; K_R es la constante de rigidez rotacional del elemento; y θ es la rotación en la dirección del momento. Para hacer posible la interacción suelo estructura, es necesario obtener los valores de F , d , M y θ . Así, también los valores de K_T y K_R , pueden ser calculados para cada dirección, representando las constantes de resorte equivalentes para el sistema de cimentación, como se muestra en la Figura 1.

Cabe señalar que K_T y $F=K_R$ permanecen lineales, con un solo valor para cada dirección (Wu y Pantelides, 2019).

Después de calcular los resortes equivalentes, el modelo estructural inicial fijado en la base se somete a un nuevo análisis estructural utilizando resortes

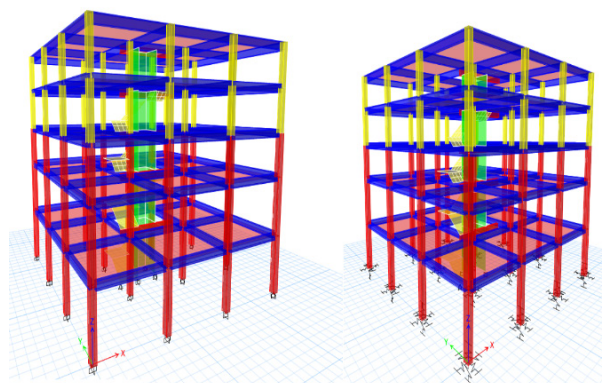
(Figura 2), lo que permite cambios en la rigidez global y, por lo tanto, una variación en los resultados.

Figura 1. Resorte equivalente para sistema de cimentación



Fuente: (Castro-Pilco y Pérez-Martínez, 2020)

Figura 2. Modelo estructural con soportes fijos (izquierda) y resortes equivalentes (derecha) en la base



Fuente: Elaboración Propia

OBJETIVO GENERAL

Comparar una edificación de 5 niveles con apoyo en la base versus una edificación de 5 niveles con interacción suelo estructura dinámica dentro del rango lineal.

METODOLOGÍA

Esta investigación se basó en conceptos estructurales básicos para la interacción suelo-estructura en rango lineal. La estructura utilizada para esta investigación es de oficinas y consta de cinco niveles, un ascensor, un módulo de escalera, con 3 tipos de suelo de cimentación, parámetros espectrales típicos de

Cochabamba, Bolivia según (GBDS, 2020). El objetivo principal de esta investigación es cuantificar las diferencias en la respuesta sísmica y el diseño de elementos estructurales de una misma estructura regular de hormigón armado utilizando la interacción suelo-estructura en rango lineal.

Dinámica estructural básica aplicada al análisis y diseño de edificios explica cómo obtener los principales criterios estructurales para aceptar o rechazar la sección transversal del miembro estructural, siendo los modos, períodos y derivas vibratorios los más importantes, incluidos los diagramas de fuerza para estructuras. diseño de miembros. Con base en los conceptos básicos de la dinámica estructural, la matriz modal y las frecuencias de la estructura se pueden calcular a partir de las Ecuaciones (3), (4) y (5).

$$[m]\{\ddot{x}\}+[c]\{\dot{x}\}+[K_e]\{x\}=0 \quad (3)$$

ϕ =eigen vectores

$$\phi=\{[K_e],[m]\} \quad (4)$$

w^2 = eigen valores

$$w^2 = \{[K_e],[m]\} \quad (5)$$

donde $[K_e]$ es la matriz de rigidez equivalente de la estructura, que depende de la sección transversal, la inercia, la longitud, los soportes y el material de cada miembro estructural para el análisis plano 2D; $[m]$ es la matriz de masa de la estructura; $[c]$ es la matriz del factor de amortiguamiento, que se considera constante en esta investigación; $\{\ddot{x}\}$ es el vector de aceleración de la estructura; $\{\dot{x}\}$ es el vector de velocidad de la estructura; $\{x\}$ es el vector de desplazamiento de la estructura ; ϕ es la matriz modal; y w^2 es la velocidad angular para cada modo de vibración.

En esta investigación se consideraron tres espectros inelásticos diferentes, y la solución general se obtuvo al realizar un análisis modal-espectral, con truncamiento modal para tres modos de vibración por piso, y luego obtener la respuesta de cada grado de libertad (DOF) por aplicando las Ecuaciones (6) y (7).

$$\ddot{D}_n + 2 \cdot \zeta_n \cdot w_n \cdot \dot{D}_n + w_n^2 \cdot D_n = \ddot{u}_g \quad (6)$$

$$u_n = \frac{\phi_n^T \cdot M_l}{m_n} \cdot \phi_n \cdot D_n \quad (7)$$

donde ζ_n es el valor de amortiguamiento por modo; w_n es la velocidad angular por modo; D_n es el valor de desplazamiento modal, $\ddot{D}_n$ la aceleración espectral; l es el vector direccional de la aceleración espectral (x, y, z); u_n es el desplazamiento para cada modo DOF y cada de vibración; m es la masa modal; y n es el número de cada modo de vibración. La respuesta total se estima a través del método CQC. Estos cálculos se realizaron en el programa ETABS V.19, versión académica (TRIAL-1EEC5CA1396174E4E4FA74F9A4).

El factor $[K_e]$ es la clave para los cambios estructurales en los resultados utilizando la interacción suelo-estructura debido al cambio en la rigidez en el primer nivel, lo que afecta directamente a la rigidez global. Si se supone que una estructura está fija en la base o utiliza resortes equivalentes, la rigidez cambia según el caso. El elemento fijo tiene restricciones de traslación y rotación en la base, mientras que el elemento no fijo no tiene restricciones, por lo que permite desplazamientos y rotaciones en la base y desplazamientos crecientes. Según la literatura (Falconí, 2008; Chopra, 1980; Reyes, 1998; Paz,1992), las disminuciones de rigidez están de acuerdo con la teoría de la rigidez equivalente, la cual expresa una equivalencia con la configuración a través de la Ecuación (8), para resortes en disposición paralela, y la Ecuación (9), para resortes en disposición continua.

$$K_e = \sum_1^n K \quad (8)$$

$$\frac{1}{K_e} = \sum_1^n \frac{1}{K_n} \quad (9)$$

La modificación de la rigidez en la base afecta directamente a la matriz de la estructura $[K_e]$, modificando los periodos, la frecuencia, la respuesta modal y los desplazamientos modales. Algunos

estudios expresan que el amortiguamiento es otro factor importante (Lutes y Sarkani, 1995; Cruz y Miranda, 2017). Sin embargo, este valor se ha mantenido constante, imponiéndose un valor de amortiguamiento del 5,00% correspondiente a estructuras provistas de hormigón armado.

Análisis y discusión

Espectro de diseño inelástico

Esta investigación se basó en tres tipos de suelos típicos de la ciudad de Cochabamba, Bolivia, con un valor de aceleración sísmica de suelo de 0,22 g. Los tres tipos de suelo son: S1, S2, S3 donde sus parámetros de suelo son descritos en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de Suelos

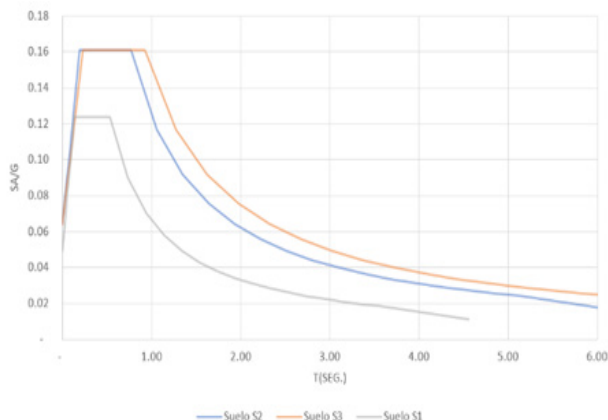
Tipo de suelo	V_{s30} (m/s)	N_{60} (golpes)	S_u (kPa)
S1	760 a 1500		
S2	370 a 760	> 50	> 100
S3	180 a 370	15 a 50	50 a 100

Fuente: (GBDS, 2020)

Donde V_{s30} es la velocidad de propagación de onda de corte, N_{60} es el número de golpes de un ensayo de penetración estándar y S_u cohesión no drenada.

El espectro inelástico por tipo de suelo utilizado para el análisis se muestra en la Figura 3, como una fracción de la gravedad según la guía boliviana de diseño sísmico (GBDS, 2020).

Figura 3. Espectro de diseño sísmico inelástico para cada tipo de suelo



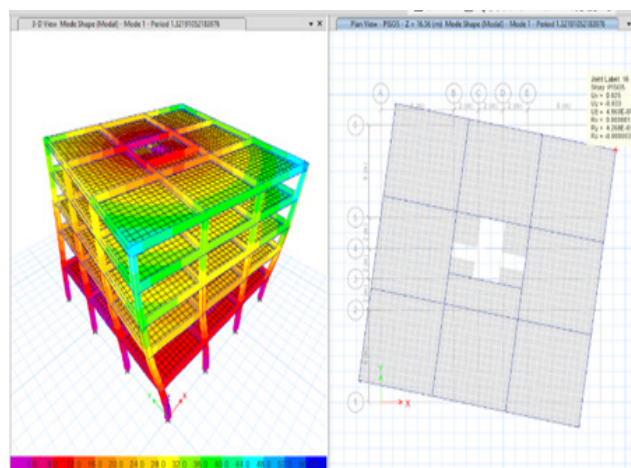
Fuente: Elaboración Propia

Análisis y diseño de superestructuras fijas

El primer paso en el análisis es el correcto diseño de la estructura, de acuerdo con la normativa (ACI, 2014, 2019; ASCE/FEMA, 2000), con el objetivo de garantizar una buena capacidad, rigidez y respuesta sísmica. Modos de vibración y desplazamientos (mm) para los tres modos principales se muestran en las Figuras 4, 5 y 6 para el análisis modal con apoyos en la base.

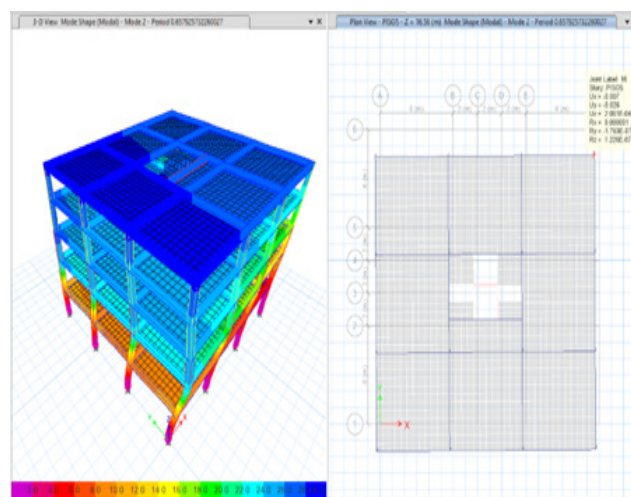
Nótese que estos desplazamientos son el resultado de la aplicación de las Ecuaciones (6) y (7) para cada DOF y para cada modo vibratorio.

Figura 4. Primer modo vibratorio (período 1,32 s).



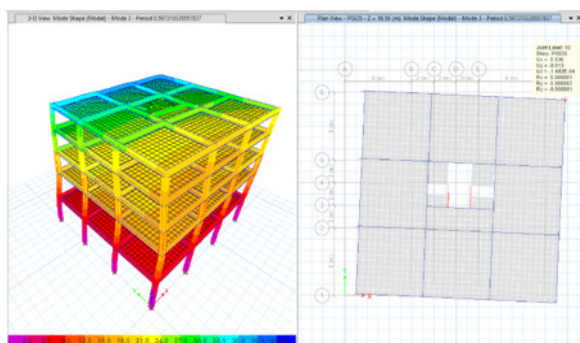
Fuente: Elaboración Propia

Figura 5. Segundo modo vibratorio (período 0,66 s)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 6. Tercer modo vibratorio (período 0,597 s)



Fuente: Elaboración Propia

Las secciones adoptadas para las vigas y columnas son las que se muestran en figura 7.

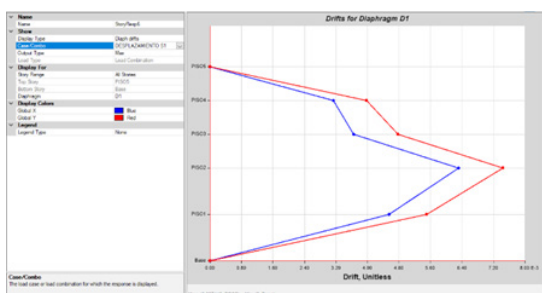
Figura 7. Secciones adoptadas pórtico tipo



Fuente: Elaboración Propia

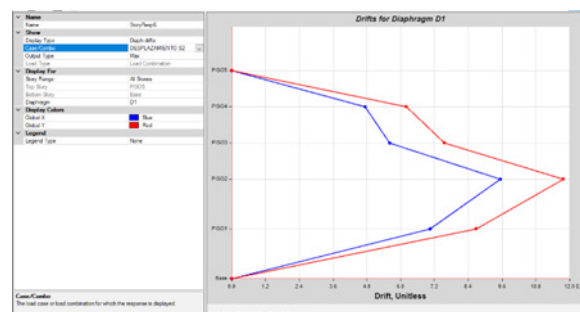
Los valores de derivas de cada piso se muestran en la figura 8, donde en ninguno de los casos se sobrepasa la deriva de 0.0012 estipulado en la (GBDS, 2020) para estructuras de hormigón armado.

Figura 7. Deriva de pisos por sismo suelo S1 (deriva máxima 0.0074)



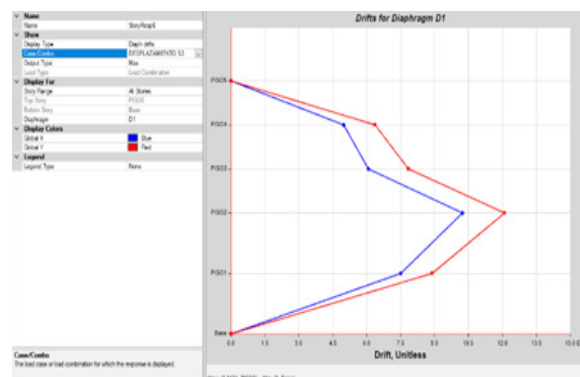
Fuente: Elaboración Propia

Figura 8. Deriva de pisos por sismo suelo S2 (deriva máxima 0.0118)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 9. Deriva de pisos por sismo suelo S3 (deriva máxima 0.012)



Fuente: Elaboración Propia

Análisis y diseño de la infraestructura

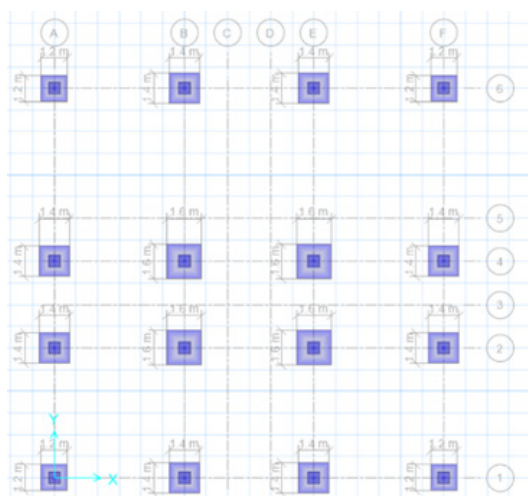
Siguiendo el procedimiento tradicional, las reacciones de la superestructura se convierten en acciones sobre la subestructura, con el fin de analizar y diseñar el sistema de cimentación para los tres tipos de suelo. Los tamaños de las cimentaciones han sido seleccionados para no exceder los esfuerzos admisibles a nivel de cimentación, los cuales están representados en las Figuras 10 y 11 por tipo de suelo. Se comprobó la influencia del sistema de cimentación, concluyendo que no hubo diferencia considerable en esfuerzos y desplazamientos. Se analizó el sistema de cimenta utilizando resortes equivalentes para desplazamientos verticales en la base para simular la elasticidad del suelo, con base en el coeficiente de Lastre (Meli Piralla, 1986). La rigidez del suelo equivalente se muestra en la Tabla 2, utilizando un espaciamiento de nodos de elementos finitos de 25 cm (de Macedo Wahrhaftig, 2020).

Tabla 2. Coeficiente de Balasto para cada tipo de suelo

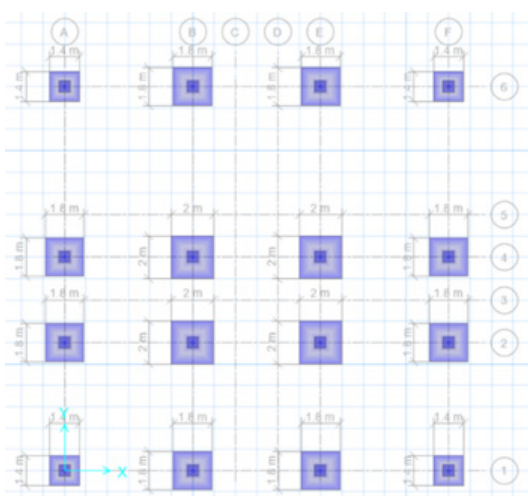
Tipo de Suelo	Coeficiente de Balasto (N/cm ³)	Rigidez Equivalente (N/cm)
S1	98.07	61294
S2	58.84	36775
S3	30.40	19000

Fuente: Elaboración Propia

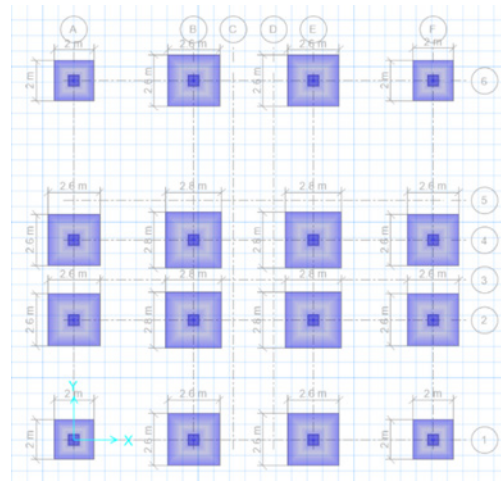
Las dimensiones definitivas para cada sistema de cimentación y para cada tipo de suelo se muestran en las Figuras 10, 11 y 12, según (Pérez-Valcárcel, J., 2013; Garza-Vásquez, 2000; Paz, 1992).

Figura 10. Sistema de cimentación para suelos S1 (m)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 11. Sistema de cimentación para suelos S2 (m)

Fuente: Elaboración Propia

Figura 12. Sistema de cimentación para suelos S3 (m)

Fuente: Elaboración Propia

Análisis y diseño de la superestructura utilizando resortes equivalentes

Para el cálculo de las rigideces estáticas de fundación para tres grados de libertad traslacional y tres grados de libertad rotacional de zapatas rígidas rectangulares ubicadas en la superficie del terreno, se utiliza lo propuesto en la (GBDS, 2020).

Tabla 3. Soluciones elásticas para la rigidez de zapatas rígidas en la superficie del suelo

Grado de libertad	(Pais & Kausel, 1988)
Traslación a lo largo del eje z	$K_{z,surf} = \frac{GB}{1-\nu} \left[3.1 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.75} + 1.6 \right]$
Traslación a lo largo del eje y	$K_{y,surf} = \frac{GB}{2-\nu} \left[6.8 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 0.8 \left(\frac{L}{B} \right) + 1.6 \right]$
Traslación a lo largo del eje x	$K_{x,surf} = \frac{GB}{2-\nu} \left[6.8 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.65} + 2.4 \right]$
Torsión sobre el eje z	$K_{zz,surf} = GB^3 \left[4.25 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.45} + 4.06 \right]$
Rotación sobre el eje y	$K_{yy,surf} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[3.73 \left(\frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.27 \right]$
Rotación sobre el eje x	$K_{xx,surf} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[3.2 \left(\frac{L}{B} \right) + 0.8 \right]$

Fuente: (GBDS, 2020).

De acuerdo con la tabla 3, las constantes de rigidez para cada tipo de suelo se muestran en las Tablas 4 a 6. Después de calcular las constantes de resorte equivalentes, se reemplazaron los apoyos en la base, cambiando así la rigidez de la estructura. Tenga en cuenta que, en promedio, la rigidez disminuye para

los suelos S1 a S3, siendo el suelo S1 el mejor y el S3 el peor en términos de comportamiento.

Tabla 4. Constante de resortes traslacionales y rotacionales para suelo S1

Rigidez Traslacional (MN/m)			Rigidez Rotacional (MN m/rad)			
EJE	Kx	Ky	Kz	Kxx	Kyy	Kzz
A-1	3997.00	3997.00	4959.00	1519.00	1532.00	2212.00
A-6	3997.00	3997.00	4959.00	1519.00	1532.00	2212.00
F-1	3997.00	3997.00	4959.00	1519.00	1532.00	2212.00
F-6	3997.00	3997.00	4959.00	1519.00	1532.00	2212.00
B-1	4663.00	4663.00	5786.00	2413.00	2432.00	3513.00
E-1	4663.00	4663.00	5786.00	2413.00	2432.00	3513.00
A-2	4663.00	4663.00	5786.00	2413.00	2432.00	3513.00
A-4	4663.00	4663.00	5786.00	2413.00	2432.00	3513.00
F-2	4663.00	4663.00	5786.00	2413.00	2432.00	3513.00
F-4	4663.00	4663.00	5786.00	2413.00	2432.00	3513.00
B-6	4663.00	4663.00	5786.00	2413.00	2432.00	3513.00
E-6	4663.00	4663.00	5786.00	2413.00	2432.00	3513.00
B-2	5329.00	5329.00	6612.00	3602.00	3630.00	5244.00
E-2	5329.00	5329.00	6612.00	3602.00	3630.00	5244.00
B-4	5329.00	5329.00	6612.00	3602.00	3630.00	5244.00
E-4	5329.00	5329.00	6612.00	3602.00	3630.00	5244.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Constante de resortes traslacionales y rotacionales para suelo S2

Rigidez Traslacional (MN/m)			Rigidez Rotacional (MN m/rad)			
EJE	Kx	Ky	Kz	Kxx	Kyy	Kzz
A-1	754.00	754.00	935.00	390.00	393.00	568.00
A-6	754.00	754.00	935.00	390.00	393.00	568.00
F-1	754.00	754.00	935.00	390.00	393.00	568.00
F-6	754.00	754.00	935.00	390.00	393.00	568.00
B-1	969.00	969.00	1202.00	829.00	835.00	1207.00
E-1	969.00	969.00	1202.00	829.00	835.00	1207.00
A-2	969.00	969.00	1202.00	829.00	835.00	1207.00
A-4	969.00	969.00	1202.00	829.00	835.00	1207.00
F-2	969.00	969.00	1202.00	829.00	835.00	1207.00
F-4	969.00	969.00	1202.00	829.00	835.00	1207.00
B-6	969.00	969.00	1202.00	829.00	835.00	1207.00
E-6	969.00	969.00	1202.00	829.00	835.00	1207.00
B-2	1077.00	1077.00	1336.00	1137.00	1146.00	1655.00
E-2	1077.00	1077.00	1336.00	1137.00	1146.00	1655.00
B-4	1077.00	1077.00	1336.00	1137.00	1146.00	1655.00
E-4	1077.00	1077.00	1336.00	1137.00	1146.00	1655.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Constante de resortes traslacionales y rotacionales para suelo S3

Rigidez Traslacional (MN/m)			Rigidez Rotacional (MN m/rad)			
EJE	Kx	Ky	Kz	Kxx	Kyy	Kzz
A-1	148.00	148.00	164.00	140.00	141.00	247.00
A-6	148.00	148.00	164.00	140.00	141.00	247.00
F-1	148.00	148.00	164.00	140.00	141.00	247.00
F-6	148.00	148.00	164.00	140.00	141.00	247.00
B-1	192.00	192.00	214.00	307.00	310.00	544.00
E-1	192.00	192.00	214.00	307.00	310.00	544.00
A-2	192.00	192.00	214.00	307.00	310.00	544.00
A-4	192.00	192.00	214.00	307.00	310.00	544.00
F-2	192.00	192.00	214.00	307.00	310.00	544.00
F-4	192.00	192.00	214.00	307.00	310.00	544.00
B-6	192.00	192.00	214.00	307.00	310.00	544.00
E-6	192.00	192.00	214.00	307.00	310.00	544.00
B-2	207.00	207.00	230.00	384.00	387.00	679.00
E-2	207.00	207.00	230.00	384.00	387.00	679.00
B-4	207.00	207.00	230.00	384.00	387.00	679.00
E-4	207.00	207.00	230.00	384.00	387.00	679.00

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Figura 2, los apoyos en la base fueron reemplazados y un nuevo análisis modal que incluye la nueva rigidez global fue realizada. La primera comparación principal tiene lugar sobre desplazamientos y períodos, como se muestra en las Figuras 9 a 11. Períodos y los desplazamientos permanecieron más cercanos con el uso de resortes equivalentes, y se ubicaron en diferentes puntos de la estructura, en comparación con las Figuras 4 a 6, lo que significa ese sistema equivalente básico refleja una respuesta similar. Por otro lado, los resultados para frecuencias y periodos se muestran en las Tablas 7 y 8, y los desplazamientos máximos se muestran en la tabla 8 para cada tipo de suelo y los tres primeros modos de vibración. Las frecuencias disminuyen mientras que los periodos incrementan, así como los desplazamientos máximos. Además, la estimación de la rigidez global se muestra en la Tabla 8, que disminuye en el suelo S3 al suelo S1, lo que significa que la rigidez no está relacionada solo con el tamaño del sistema de cimentación, sino también al Coeficiente de rigidez y al tipo de cimentación.

Tabla 7. Periodos de vibración

Modo	Periodo T (s)			
	Apoyos en la base	Resortes Suelo S1	Resortes Suelo S2	Resortes S3
1	1.32	1.33	1.34	1.37
2	0.65	0.66	0.66	0.67
3	0.59	0.61	0.60	0.61

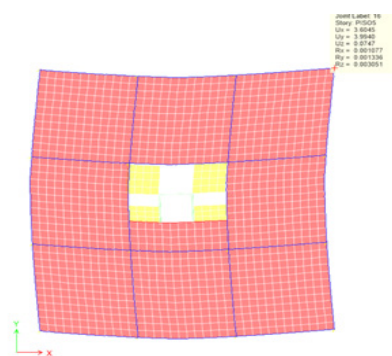
Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Frecuencias de vibración

Modo	Frecuencia w (rad/s)			
	Apoyos en la base	Resortes Suelo S1	Resortes Suelo S2	Resortes S3
1	4.7534	4.7367	4.6968	4.5996
2	9.5509	9.541	9.5155	9.4349
3	10.5219	10.5085	10.4754	10.3631

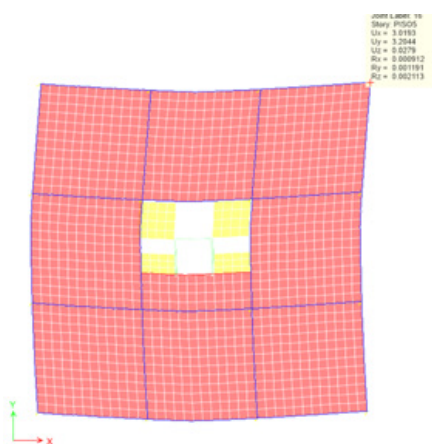
Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Desplazamiento máximo por sismo en suelo S3 (4cm)



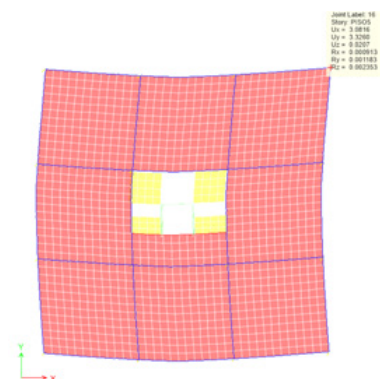
Fuente: Elaboración Propia

Figura 14. Desplazamiento máximo por sismo en suelo S2 (3.2cm)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 15. Desplazamiento máximo por sismo en suelo S1 (3.3cm)

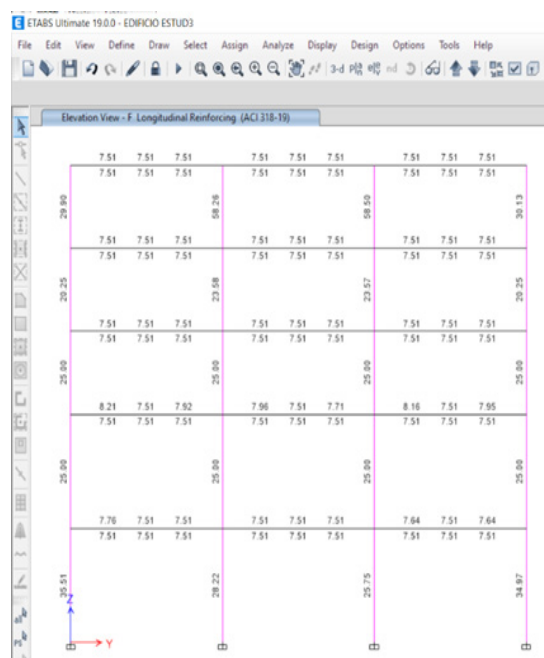


Fuente: Elaboración Propia

Comparación entre modelos con apoyos en la base y con resortes

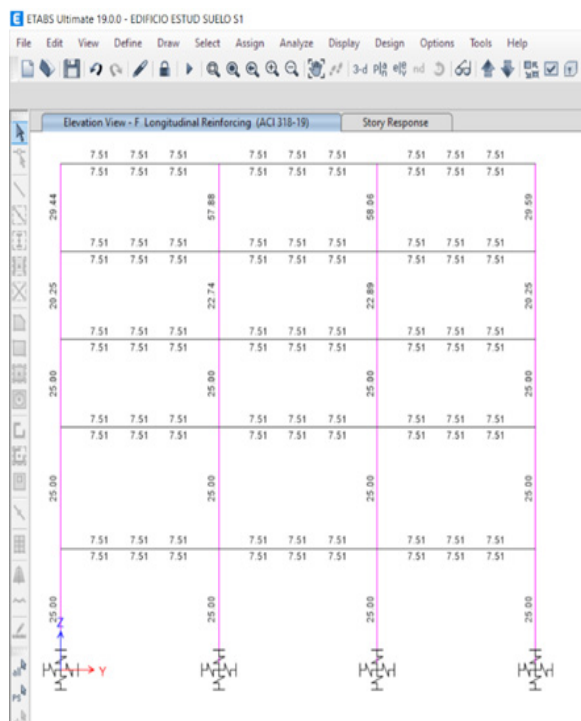
Para comparar la respuesta estructural entre los modelos con apoyos en las bases y con resortes, se realizó un diseño completo para cada tipo de suelo.

En la figura 16 se muestra las áreas de refuerzo de acero necesarias para las vigas y columnas con apoyos en la base, la combinación más crítica es la con el espectro del suelo S3.

Figura 16. Áreas de aceros (cm²) de Vigas y Columnas estructura con apoyos en la base

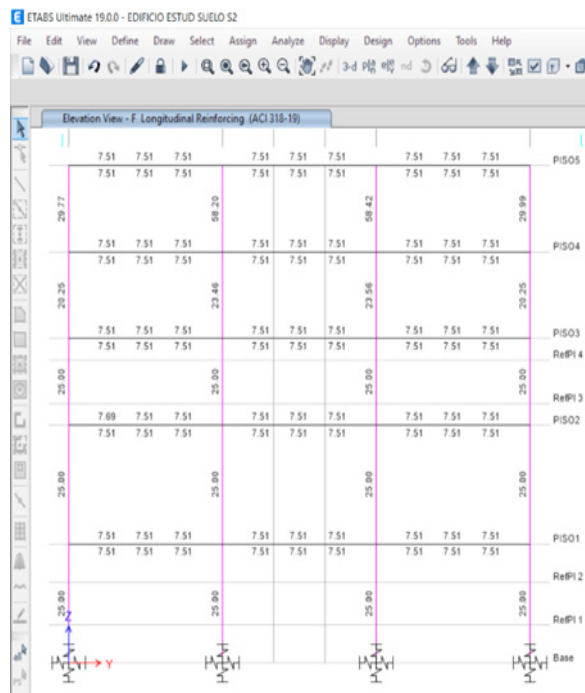
Fuente: Elaboración Propia

Figura 17. Áreas de aceros (cm²) de Vigas y Columnas estructura con resortes suelo S1



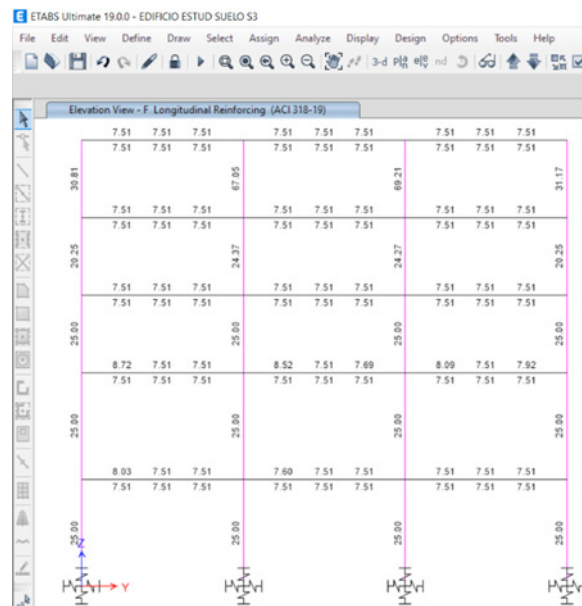
Fuente: Elaboración Propia

Figura 18. Áreas de aceros (cm²) de Vigas y Columnas estructura con resortes suelo S2



Fuente: Elaboración Propia

Figura 19. Áreas de aceros (cm²) de Vigas y Columnas estructura con resortes suelo S3



Fuente: Elaboración Propia

Las áreas de acero de refuerzo para vigas y columnas para cada modelo se muestran en las figuras 17 a 19. Se puede observar que, para el suelo S1 en comparación con el suelo S3 existe un aumento de refuerzo requerido está relacionado con la rigidez, que es el más alto entre los tres tipos de suelo, acercándose al modelo fijo (Wahrhaftig y Brasil, 2017). El aumento de refuerzo de acero en las columnas es del 15.09% más con respecto al modelo de con apoyos en la base.

RESULTADOS

De acuerdo con los resultados, para esta estructura regular, la interacción suelo-estructura en rango lineal tiene un impacto en la análisis y diseño. El primero está relacionado con el refuerzo de acero para elementos estructurales que aumentaron para las columnas y también existe un de cantidades de estribos para vigas y columnas.

Los valores de deriva mostraron un aumento esperado, siendo mayor para suelo S3 (14%), que fue el más crítico en términos de rigidez y la resistencia del suelo, así como sujeto a gravitacional e influencias sísmicas, permitiendo así más desplazamientos y rotaciones en la base. Sin embargo, podría mejorarse

está situación dando más rigidez a su sistema de cimentación mecánicamente alterar las propiedades del suelo para preservar la sección transversal de las fundaciones.

Una estructura generalmente funciona como un filtro para el movimiento sísmico, es decir, dependiendo de la estructura y su transferencia de función, puede ser susceptible a las frecuencias de un cierto terremoto. La función de transferencia, a su vez, depende directamente sobre la rigidez de la estructura; cuando la estructura es fija en la base, tiene más rigidez que con resortes en él, pero aun así, esto no significa que la estructura con los resortes en la base tendrán mayores desplazamientos laterales que la estructura fija, dado que, al colocar traslacionales y resortes giratorios, desplazamientos verticales y laterales se producirán rotaciones en la base, lo que puede incluso reducir la lateralidad desplazamiento.

Las fuerzas cortantes y los momentos de torsión aumentaron y disminuyeron, al igual que las derivas, pero la rigidez de la estructura con resortes se ve disminuido, lo que produjo una reducción de las cortantes fuerzas en los suelos S1 y S2, pero aumentó con el suelo S3, que no es el caso de los momentos de torsión, (sólo aumentó para los suelos S1 y S2). La explicación de esto radica en la rigidez lineal de la estructura (traslacional y rotacional). En el caso de resortes, la rigidez disminuyó, pero los desplazamientos aumentados, por lo que hay una compensación comparable a la fija modelo.

Es muy recomendable aplicar este estudio para otros suelos tipos y la misma estructura mediante la optimización de la superestructura y subestructura. Además, se recomienda evitar desplazamientos con mayores variaciones en la base, lo que permite controlar las tensiones adicionales en la superestructura.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La presente investigación buscó retratar las percepciones de los estudiantes universitarios sobre la educación superior en dos momentos temporales, el primero fue durante las clases virtuales (gestiones 2020 y 1-2021) y el segundo son las clases presenciales (gestiones 2-2021 y 2022), para ello

se contó con una muestra de 462 participantes, de los cuales 377 fueron de la carrera de Ingeniería Comercial y 85 de la carrera de Ingeniería financiera. Los ciclos de Formación agrupan a los 10 semestres de cada carrera, donde primer y segundo semestre corresponden a la Formación Básica (149), tercer al sexto semestre corresponden a la Formación Instrumental (158) y del séptimo al décimo semestre corresponden a la Formación Profesionalizante (155). Se tuvo también la participación de 252 mujeres y 210 hombres.

Los resultados obtenidos no están lejos de lo encontrado en investigaciones previas (Chávez, Chávez, Flores & Guayanlema, 2021; Román, 2020; Pérez & Moreno, 2021; Londoño et al, 2021; Campoverde & Vega, 2022) en relación con el estado educativo en términos de virtualidad y presencialidad y la disparidad entre los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Comenzando a hablar sobre las condiciones previas para el proceso de aprendizaje que son: recursos tecnológicos, horarios designados para las clases y el espacio disponible para pasar clases se encontró con algo distinto en relación con otras investigaciones como de las Instituciones de Educación Superior de Oaxaca, México (Román, 2020), Naciones Unidas (2020), Pérez & Moreno (2021), Aguilar (2020), pues en ellas se encontró que existe un gran porcentaje estudiantil que no cuentan con estas condiciones, evidenciando a las clases virtuales como un factor de desigualdad social. En contraste, el presente estudio reporta que la gran mayoría (desde el 70% en adelante) tiene las condiciones adecuadas para pasar las clases tanto de forma virtual como de forma presencial en los tres ciclos de formación. Sin embargo, siguen estando presentes brechas desde base (con aquellos que no cuentan con las condiciones adecuadas) para pasar clases, como indica Pinto (2021) que tienen su raíz desde la formulación de las políticas públicas empleadas en el sector educativo de Bolivia. En la EMI es un grupo que está por debajo del 30%, empero, hay que considerarlo presente.

Respecto a este análisis de este porcentaje de estudiantes (por debajo del 30%) que reporta no tener condiciones adecuadas para pasar clases, se observa que estas mejoran en una educación

presencial para los de Formación Básica, caso contrario a las personas de Formación Instrumental y Profesionalizante, quienes indicaron que se sienten más cómodos con las condiciones de forma virtual que presencial, lo que nos abre una interrogante, ¿qué condiciones harían falta para que se puedan los estudiantes se sientan cómodos con ellas, especialmente para los últimos ciclos de formación y llegar así a brindar mejores facilidades para un aprendizaje significativo?

Respecto a las percepciones estudiantiles de aprendizaje como de enseñanza, los dos primeros semestres (Formación Básica) reportaron mejores percepciones de enseñanza y aprendizaje en las clases de modalidad presencial, ya que la virtualidad no ha alcanzado el aprendizaje significativo para ellos, esto se explica a través de lo que Londoño et al (2021) plantean, pues la virtualidad implica un acuerdo didáctico entre docente y estudiante, donde este último actor aprende de forma autónoma y colaborativa, dos competencias que todavía están siendo trabajadas al momento de entrar a la universidad, en adición tenemos que considerar que se encuentra agregada esta desigualdad en las condiciones de horario-físicas-tecnológicas para poder pasar clases virtuales. Por su parte Aguilar (2020) también plantea la posibilidad que la falta de contacto social en la modalidad virtual tiene un impacto directo en el pensamiento reflexivo del alumnado.

Continuando, tanto los estudiantes del ciclo de Formación Instrumental como Profesionalizante plantean la posibilidad de establecer clases híbridas, para clases de actualización, pues se encuentran más preparados a nivel de competencias de disciplina, autonomía y autogestión en relación a los de Formación Básica, ya que dichas enseñanzas personales, como lo reportan Londoño et al (2021), se han potenciado necesariamente con la virtualidad para hacerle frente a las clases en este formato, además los estudiantes de estos dos últimos ciclos tienen más conciencia de su profesión y ya se conocían antes de iniciar pandemia, cosa que no ocurre en la Formación Básica.

Sin embargo, hay que hacer énfasis en este cambio de metodología y ejecución que implican las clases híbridas, pues la virtualidad no solamente involucra

un cambio de formato de clases presenciales de forma superficial, sino que el rol del docente cambia a ser un “facilitador” y guía del estudiante, pues su nuevo desafío es “transformar el espacio virtual asimétrico en un espacio simétrico donde cada una de las partes (educando-educador) intervenga en igualdad de condiciones en los foros, discusiones o participaciones” (Aguilar, 2020, pp. 221). En adición la parte virtual de este formato híbrido debe contar con contenido muy conciso y puntual sobre los tres saberes (saber conocer, saber hacer y saber ser) pues en primera instancia debe plantearse como un “complementario” a las clases presenciales.

Como dato importante a señalar en general, el aprendizaje con enseñanza virtual indica que los estudiantes han aprendido menos en relación a la enseñanza presencial (45%), un 32% indica que ha aprendido de manera similar y un 22% ha aprendido más. Esto implica que la mayoría de los estudiantes han aprendido menos, por lo que todos los ciclos de formación muestran la necesidad de tomar cursos de actualización para lograr nivelar el este vacío de aprendizaje producto de la virtualidad espontánea. La modalidad sugerida para dichas clases de actualización nuevamente para los de Formación básica tendría que ser de forma presencial y para los de Formación Instrumental y Profesionalizante un formato híbrido, ya que virtualidad y presencialidad es muy similar entre ambos.

A modo de cierre, la virtualidad en Bolivia se ha ido implementando anteriormente de poco a poco, durante la pandemia se ha obligado abruptamente un cambio total de formato por casi dos años dentro de lo que es la educación superior, por lo que la nueva realidad muestra que la virtualidad ha llegado para quedarse y estamos comenzando a ver qué aspectos podemos ir mejorando, fortaleciendo y aprendiendo. Por lo que se espera que la incertidumbre producto de este cambio abrupto pueda ser combatida con la creatividad y aprendizaje.

Recomendaciones:

Se recomienda tomar en cuenta la interacción suelo estructural dinámica en el análisis estructural de edificaciones, especialmente en suelos blandos o con velocidad de onda de corte menores a 180m/s.

Se recomienda utilizar los factores de correcciones de rigidez de resortes, para poder de esta manera tomar en cuenta la cota de fundación y el amortiguamiento del sistema de fundación.

Se recomienda seguir con la línea base de la investigación en lo que refiere al análisis y diseño sísmico de estructuras.

CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no tiene conflictos de interés con la presente investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] American Concrete Institute, Committee 318 (ACI) (2014). Building Code Requirements or Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI 318R-14). ACI.
- [2] American Concrete Institute, Committee 318 (ACI) (2019). Building Code Requirements or Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary (ACI 318R-19). ACI.
- [3] ASCE/FEMA (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356). Federal Emergency Management Agency.
- [4] Castro-Pilco, C. F. and Pérez-Martínez, G. E. (2020). Análisis de la interacción suelo-estructura estática para una edificación regular de hormigón armado y 3 tipos de suelos [Bachelor's thesis].
- [5] Chopra, A. K. (1980). Dynamics of structures. Earthquake Engineering Research Institute.
- [6] Cruz, C. and Miranda, E. (2017). Evaluation of soil-structure interaction effects on the damping ratios of buildings subjected to earthquakes. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 100, 183-195. 10.1016/j.soildyn.2017.05.034
- [7] DAS, B. M. (2011). Principles of Foundation Engineering (7th ed.). Braja Das.
- [8] Díaz-Guzmán, F. D., Espinoza-Barreras, F., Sánchez-Vergara, R., and Huerta-López, C. I. (2012). Respuesta dinámica de un edificio considerando el efecto de interacción suelo estructura. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. <https://core.ac.uk/download/41779960.pdf>
- [9] Falconí, R. A. (2008). Análisis sísmico de edificios. Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército.
- [10] FEMA (2006). NEHRP recommended provisions: Design examples (FEMA 451). Federal Emergency Management Agency.
- [12] FEMA, P. (2018). Assessing Seismic Performance of Buildings with Configuration Irregularities. Calibrating Current Standards and Practices.
- [13] Galicia, W. and León, J. (2007). Interacción sísmica suelo estructura en edificaciones de albañilería confinada con plateas de cimentación. Universidad Privada Antenor Orrego.
- [14] GBDS. (2020). Guía Boliviana de Diseño Sísmico. La Paz: Ministerio de Obras Públicas, Servicios y Vivienda-MOPSV
- [15] Garza-Vásquez, L. (2000). Diseño y construcción de cimentaciones. Escuela de Ingeniería Civil
- [16] Hernández-Velasco, E. (2013). Análisis de la interacción dinámica suelo - estructura de un edificio desplantado en la zona de Lago de la Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [17] Villareal, G. (2009). Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas. Asamblea Nacional de Rectores. <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/109/2009/07/Interaccion-suelo-zapata.pdf>

- [18] Wahrhaftig, A. de M. and Brasil, R. M. (2017). Initial undamped resonant frequency of slender structures considering nonlinear geometric effects: the case of a 60.8 m-high mobile phone mast. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39(3), 725-735. 10.1007/s40430-016-0547-1
- [19] Wahrhaftig, A. de M. (2020). Time-dependent analysis of slender, tapered reinforced concrete columns. *Steel and Composite Structures*, 36(2), 229-247. 10.12989/scs.2020.36.2.229
- [20] Weaver, W. and Gere, J. M. (1990). Finite-Element Method for Framed Structures. In *Matrix Analysis of Framed Structures* (pp. 447-467). Springer. 10.1007/978-1-4684-7487-9_7
- [21] Wu, R. Y. and Pantelides, C. P. (2019). Seismic evaluation of repaired multi-column bridge bent using static and dynamic analysis. *Construction and Building Materials*, 208, 792-807. 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.027
- [22] Zeevaert, L. (1980) Interacción suelo-estructura, estática y sísmica de cimentaciones monolíticas superficiales [Conference presentation]. VI Seminario de Mecánica de Suelos Interacción Suelo-Estructura, Caracas, Venezuela. <https://docplayer.es/14218639-Interaccion-suelo-estructura-estatica-y-sismica-de-cimentaciones-monoliticas-superficiales-1-por-dr-leonardo-zeevaert.html>



Iván Franklin Guerrero Anagua.

Nació en Potosí - Bolivia, es Ingeniero Civil graduado de la Universidad Mayor de San Simón - Cochabamba, realizó estudios de posgrado en la Universidad San Sebastián de Chile en Análisis y Diseño Estructural. Maestrante en la Maestría en Ingeniería Estructural de la Universidad Mayor de San Simón. Docente de pregrado en materias de análisis y diseño estructural en la Escuela Militar de Ingeniería.