

Artículo de Investigación

Incidencia de los suelos de Portoviejo en edificación típica considerando interacción dinámica suelo-estructura

Incidencia de Portoviejo soils in typical building considering dynamic soil-structure interaction

Anthony Arteaga Medranda¹, Julio Hernán Cevallos Centeno²

¹Maestrante, Ingeniería Civil mención Estructuras, Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador, 130104;

²Carrera de Ingeniería Civil, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador, 130104;

julio.cevallos@utm.edu.ec

*Correspondencia: larteaga4319@utm.edu.ec

Citación: Arteaga, A. & Cevallos, J., (2025). Incidencia de los suelos de Portoviejo en edificación típica considerando interacción dinámica suelo-estructura. *Novasinerгия*. 8(1). 67-80.

<https://doi.org/10.37135/ns.01.15.05>

Recibido: 02 abril 2024

Aceptado: 19 julio 2024

Publicado: 08 enero 2025

Novasinerгия

ISSN: 2631-2654

Resumen: En el Ecuador tradicionalmente los ingenieros estructurales, diseñan las estructuras considerando bases empotradas, asumiendo rigidez infinita del suelo, lo que es una metodología poco apegada a la realidad, debido a que el suelo presenta deformaciones cuando es sometido a fuerzas externas, la investigación parte de la hipótesis de que la inclusión de la interacción suelo-estructura causa siempre la reducción de la respuesta sísmica, por lo que el estudio consideró un edificación aporticada de hormigón armado, de forma rectangular vista en planta, de cuatro niveles típica de unidades educativas, con la finalidad de que esta fuera sometida a análisis tradicionales frente a análisis con características propias de sitio, se utilizó espectros tomados de la microzonificación sísmica de Portoviejo, específicamente de las microzonas M2, M3 y M4 siendo estas clasificadas como suelo tipo D, frente al espectro de la NEC-15 para suelo D. Para la inclusión de los efectos interacción suelo-estructura se desarrolló bajo las metodologías del ASCE 41 y Gazetas, logrando así determinar la influencia de la interacción suelo-estructura, misma que es de suma importancia ya que permite la obtención de estructuras optimizadas, debido a que acorde al tipo de suelo sobre el cual se planteó el análisis, la demanda puede reducir como aumentar considerablemente, es decir para sitios con mayor rigidez (Microzona M2, M3) las solicitaciones sísmicas se reducirán. Para el caso de suelos blandos (Microzona M4) las solicitaciones sísmicas aumentarán, por esto un análisis basado en características propias de sitio más la inclusión del análisis interacción suelo-estructura debería siempre ser comprendido al momento de diseñar una edificación.

Palabras clave: Edificación, Interacción suelo-estructura, Micro zonificación, Suelos blandos, Suelos rígidos.

Abstract: In Ecuador, structural engineers traditionally design structures by considering embedded bases and assuming infinite soil stiffness. This methodology does not accurately reflect reality, as soil deforms when subjected to external forces. The research is based on the hypothesis that including soil-structure interaction always reduces the seismic response. To test this hypothesis, a reinforced concrete frame building, rectangular in shape with four levels and typical of educational units, was analyzed. The study compared traditional analysis methods to those incorporating site-specific characteristics, using spectra from the seismic microzonation of Portoviejo. Specifically, spectra from microzones M2, M3, and M4, all classified as type D soil, were compared to the NEC-15 spectrum for type D soil. The effects of soil-structure interaction were included using ASCE 41 and Gazetas methodologies. This analysis determined the influence of soil-structure interaction, which is crucial for optimizing structures. Depending on the type of soil on which the analysis is conducted, the demand can significantly reduce or increase. For sites with greater rigidity (Microzones M2 and M3), seismic stresses will be reduced. Conversely, for soft soils (Microzone M4), seismic stresses will increase. Therefore, an analysis based on site characteristics, plus the inclusion of soil-structure interaction, should always be applied when designing a building.

Keywords: Edification, Soil-structure interaction, Micro zoning, Soft soils, Rigid floors.



Copyright: 2025 derechos otorgados por los autores a Novasinerгия.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de una licencia de Creative Commons Attribution (CC BY NC).

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

1. Introducción

Los métodos para el diseño de estructuras se basan en la ingeniería sísmica y en estudios específicos de vulnerabilidad en zonas de alto riesgo. Su finalidad es evaluar las estructuras, garantizando así la reducción de pérdidas humanas y materiales (Villareal, 2009). Entre estos procedimientos tecnológicos destacan el aislamiento sísmico de base, funciones de vulnerabilidad sísmica y la consideración de la interacción dinámica suelo-estructura (Fundora et al., 2022).

La importancia de la ingeniería estructural radica en la búsqueda de representar una estructura mediante un modelo numérico que represente una gran aproximación a la realidad. La inclusión de la interacción suelo-estructura es una de las maneras de acercarse al comportamiento real de la estructura. En la actualidad existen diversas formas de representar esta interacción, que pueden ser estática, dinámica, lineal o no lineal (López et al., 2022).

En nuestro medio es común el análisis considerando bases rígidas lo que asume que el apoyo de la estructura tiene rigidez infinita, es decir no presenta desplazamientos verticales ni horizontales, sin embargo, esta suposición no es real debido a la presencia de asentamientos, movimientos de traslación y rotación que se generan en la base de las edificaciones (Villareal & Aguila, 2021). El comportamiento estructural de una edificación es afectado por la interacción del suelo, el sistema de cimentación empleado y la configuración estructural de la misma (Araca et al., 2020), por lo tanto, debido a las características propias de los suelos de nuestro territorio es necesario considerar otras metodologías de análisis como lo es la interacción dinámica suelo-Estructura, misma que estudia la variación de respuesta dinámica del suelo y de la estructura, provocado por la flexibilidad del sistema suelo-cimentación ante un movimiento sísmico (Avilés & Pérez, 2004), lo que realza la importancia de tomar consideraciones acordes a la geología y geotecnia del sitio sobre el cual se encuentre asentada la edificación (Fernández et al., 2015).

Investigaciones como Díaz et al., (2012) y Tena, (2019) indican que los efectos de Interacción suelo-estructura pueden definirse generalmente en dos mecanismos principales: (1) Interacción cinemática, misma que considera la diferencia en el movimiento del terreno que proviene de la rigidez del sistema estructura-cimentación como si no tuviera masa, lo que depende fundamentalmente de la rigidez y geometría de la cimentación. (2) Interacción inercial, toma en cuenta las fuerzas de inercia que se generan por la vibración de la masa de la cimentación y de la estructura, que da lugar no solo a elementos mecánicos dentro de los distintos miembros que las componen, sino también a tres fuerzas y tres momentos referidos a dos ejes horizontales y uno vertical en la base (Bazán & Meli, 2002).

Rodríguez et al, (2017) indica que el impacto de la interacción suelo-estructura depende principalmente de la flexibilidad del suelo, y puede tener efectos tanto benéficos como perjudiciales dependiendo de la razón entre el periodo del sistema y el suelo, incrementando o reduciendo la respuesta de una estructura.

Otras investigaciones como (Fernández et al., 2015; Olivera & Villareal, 2023; Tapia et al., 2017), indican que el efecto de la interacción suelo-estructura modifica la ductilidad teórica que pueden desarrollar los edificios. En la mayoría de los casos en los modelos con

cimentación flexible reportan una disminución de la ductilidad que puede desarrollar el sistema en comparación de los sistemas de bases rígidas.

Una de las causas probables del colapso parcial o total de una estructura es el terreno sobre el cual está o estará apoyada, ya que estos son los delegados de soportar las cargas dinámicas que actúan sobre la estructura y su cimentación, pudiendo producirse asentamientos, empujes, vuelco, o en su peor evento licuarse perdiendo así su capacidad de soporte (Jurado, 2012). Al momento que un estrato suelto es atravesado por una onda sísmica esta puede atenuarse como amplificarse, dando como resultado la difracción múltiple, por esto la importancia de considerar los efectos de sitio, ya que estos dependen de las características del terreno de cimentación, la cual es vital en diseño sísmico (Botero et al., 2004).

Ante las condiciones geológicas, geotécnicas y la alta sismicidad que posee la ciudad de Portoviejo, hacen de esta una zona de alta vulnerabilidad, pudiendo desarrollar fenómenos simultáneos como lo son los asentamientos, expansión de suelos, licuefacción (Alvarado & Bernal, 2017), por esto los diseños deben basarse bajo prospecciones geotécnicas y geológicas debido a que las estructuras colapsan por efectos del suelo (Aguiar & Ortiz, 2017). Como indica Calderín et al., (2020), el no considerar los efectos de interacción suelo-estructura en el análisis y diseño de una edificación, pudiera ocasionar el incremento o reducción de las solicitaciones dinámicas como resultado de la flexibilidad del suelo, a partir del alargamiento del periodo de vibración y la reducción de la ductilidad de la estructura.

Debido a que la provincia de Manabí tiene una alta recurrencia sísmica con valores de aceleración de hasta 0.5g según la NEC (2015), se estudió una edificación de hormigón armado, utilizando el estudio de microzonificación sísmica de la ciudad de Portoviejo. Actualmente, en nuestro medio, se puede percibir mucha incertidumbre por parte de los calculistas estructurales en cuanto al uso de esta herramienta, lo que resulta en estructuras no óptimas para nuestro entorno constructivo, ya que continúan basándose en metodologías tradicionales de cálculo.

El estudio analizó la influencia de los espectros de la microzonificación sísmica de Portoviejo, incluyendo interacción dinámica suelo-estructura, frente al espectro de la NEC-15 para el suelo D, tomando una estructura típica de instituciones educativas, conformada por 4 niveles y una distribución estructural rectangular vista desde planta, el material predominante el hormigón armado. Lo que permitirá determinar las limitaciones que tiene un análisis convencional frente a un análisis basado en características propias de sitio, partiendo de la hipótesis de que la implementación de la interacción suelo-estructura siempre causa la reducción en la respuesta sísmica de la edificación.

2. Metodología

2.1. Estudio de microzonificación sísmica de Portoviejo

El propósito de los estudios de microzonificación sísmica es determinar el comportamiento del suelo ante acciones sísmicas, este objetivo se alcanza mediante una serie de investigaciones de carácter geológico, geotécnico y geofísicos del subsuelo, que,

junto con ensayos de respuesta sísmica en la superficie, permiten definir microzonas con características propias en espectros de respuesta (Chunga et al., 2019).

Para la determinación de las microzonas sísmicas estudiadas, se optó por tomar las zonas que han mostrado un notable crecimiento en la última década como lo indica Cedeño et al, (2019); la información primordial que se consideró es la variación de velocidad de propagación de onda de corte (ver Tabla 1) V_{s30} en los primeros 30 m de profundidad. Los espectros proporcionados por la Norma Ecuatoriana de la Construcción sirvieron como punto de arranque, mismos que fueron contrarrestados por los espectros creados de la microzonas estudiadas (Morales & Espinosa, 2020).

Tabla 1: Parámetros de espectro de diseño para PMR=475 años

Microzona	Descripción del Suelo	Velocidad de Propagación
M2	Suelo semirrígido	$360 > V_{s30} > 270$ m/s
M3	Suelo intermedio	$270 > V_{s30} > 225$ m/s
M4	Suelo blando	$225 > V_{s30} > 180$ m/s

Del estudio de microzonificación sísmica de Portoviejo, se obtuvo espectros de diseño básicos para un periodo de retorno PMR de 475 años, mismos que son apreciables en la Figura 1. Además, se añadió el espectro para suelo tipo D a partir de las consideraciones impuestas por la NEC-15, considerando también que de acuerdo a la velocidad de onda de corte de las microzonas seleccionadas, todas son clasificadas como suelo tipo D, según los parámetros de clasificación de los suelos de la NEC-15; es apreciable las variaciones de los espectros, donde denota que a medida que la velocidad de onda de corte sea mayor, la meseta se reduce.

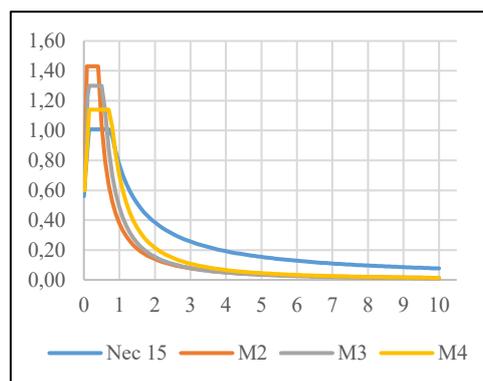


Figura 1: Espectro de diseño PMR 475 años

2.2. Métodos de cálculo para la interacción suelo-estructura

La interacción estática suelo-estructura relaciona parámetros de rigidez estática como lo es el coeficiente de balasto donde se trabaja con cargas de naturaleza estática, indiferentemente de usar fuerzas sísmicas en realidad se utiliza una carga seudo estática (máxima reacción que se obtiene de un análisis sísmico). A diferencia de un análisis de interacción dinámica suelo-estructura (IDSE) que relaciona componentes de rigidez

dinámica, componentes de degradación de rigidez dinámica y efecto de amortiguamiento en la respuesta global del sistema (Fernández et al, 2023).

Para la ejecución de los cálculos correspondientes a la inclusión de la interacción dinámica suelo-estructura, se elaboraron los siguientes métodos: (1) Método del ASCE41-17 equivalente a lo publicado previamente en el FEMA 356, (2) Método de Gazetas para analizar el problema de la interacción dinámica suelo-estructura mediante el uso de las funciones de impedancia basado en el reporte NEHRP-NIST GCR 12-917-21(2012).

2.3. Descripción de la edificación

Dentro del presente estudio, la población estuvo definida por una edificación ficticia la cual se ubicó en el cantón Portoviejo, perteneciente a la provincia de Manabí, cuya distribución estructural trata de simular un edificio típico aperticado de unidades educativas, siendo este de forma rectangular visto en planta, conformado por cuatro losas, se consideró además la planta baja y el primer piso alto como uso de oficinas, los pisos dos y tres de usos de salones de clases y finalmente el piso 4 como cubierta, la estructura posee como material de construcción predominante el hormigón armado. Al ser las columnas y vigas las encargadas de sobrellevar las cargas gravitacionales y sísmicas, se tomó columnas desde la planta baja hasta el piso dos de $65 \times 55 \text{ cm}$, desde el piso dos hacia el piso cuatro de $55 \times 45 \text{ cm}$. Las vigas con una sección de $40 \times 35 \text{ cm}$ en todos los niveles con excepción del piso de cubierta mismo que posee una sección de $35 \times 30 \text{ cm}$, la losa en todos los niveles incluido la cubierta posee un espesor de 20 cm . La estructura no presenta irregularidad en planta ni elevación de acuerdo con lo establecido con la NEC-15. Los modelos numéricos se realizaron en el software Etabs (ver Figura 2).

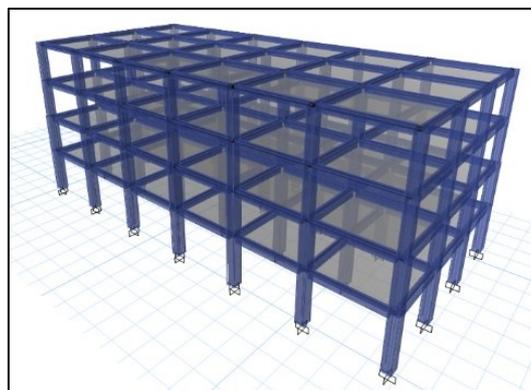


Figura 2: Vista preliminar de la estructura

Dentro del análisis de la estructura se consideró como cargas gravitacionales el peso propio y sobrecarga, obteniendo que para los pisos del uno al tres ($D = 0.4 \text{ tonf/m}^2$), y para el piso cuatro ($D = 0.2 \text{ tonf/m}^2$). Además, se consideró como sobrecarga viva para el primer piso alto ($L = 0.24 \text{ tonf/m}^2$), para los pisos dos y tres ($L = 0.20 \text{ tonf/m}^2$), finalmente el piso de cubierta ($L = 0.07 \text{ tonf/m}^2$), los valores de sobrecarga viva se tomaron acorde a lo establecido por la NEC-15. Se hizo uso del análisis modal espectral para considerar las sollicitaciones sísmicas, empleando el espectro de diseño de la NEC-15 para suelo tipo D, además se incluyeron los espectros de diseño brindados por la microzonificación sísmica, específicamente para las microzonas 2, 3 y 4, zonas consideradas en desarrollo además en

las cuales se encuentran tres grandes universidades que siguen en crecimiento y están conformadas por edificaciones con tipologías estructurales similares a la planteada en el presente estudio. Debido a la ubicación propuesta se clasificó dentro de la zona sísmica VI, por ser estructura de ocupación especial se precisó un coeficiente de importancia $C = 1.3$, y un factor de reducción de resistencia sísmica $R = 6$, de acuerdo con lo establecido por la NEC-15.

2.4. Resultados a comparar

Para el análisis de la estructura, se tuvo como punto de partida la inclusión del espectro de la NEC-15 para suelo tipo D, considerando sus bases empotradas, seguido a esto se aplicó el espectro de cada microzona manteniendo las bases de la estructura empotrada, finalmente se hizo la inclusión de resortes calculados por el método ASCE41 y el método de Gazetas, los que simularán las características del suelo, dando un total de diez modelos analizados, además a causa de la clara variación entre los espectros de diseño propuestos para el estudio, se espera considerables variaciones en los periodos, las derivas de piso, desplazamientos, cortantes globales máximos, esfuerzos en vigas, variación de cuantías en vigas y capacidad de columnas.

3. Resultados

Al someter la estructura a diversas condiciones de suelo y fuerzas sísmicas, se pudo evidenciar una variación considerable con respecto al periodo fundamental, como es el caso de la microzona M4 que al considerar la IDSE, la edificación logra alcanzar periodos de hasta 0.81s contrastando su clara reducción cuando se emplean bases empotradas logrando valores de 0.72s, además es apreciable un comportamiento similar en las microzonas M3 y M2 como se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2: Periodos fundamentales máximos

Microzonas	B.E	ASCE41	GAZETAS
NEC-15	0,72 s	-	-
Microzona M2	0,72 s	0,79 s	0,73 s
Microzona M3	0,72 s	0,79 s	0,80 s
Microzona M4	0,72 s	0,79 s	0,81 s

B.E: Bases empotradas de acuerdo a cada microzona estudiada.
ASCE41: Método interacción suelo estructura propuesto por el American Society of Civil Engineers.
GAZETAS: Método interacción suelo estructura propuesto por el reporte NEHRP (Método Gazetas).

3.1. Derivas de Piso

Microzona M2: La deriva máxima de piso obtenida al partir del modelo que incluye el espectro de la NEC-15 considerando bases empotradas, con un valor de 2.13% que se encuentra ligeramente superior al límite establecido por la NEC-15, mientras que para el caso que incluye el espectro de microzona M2 conservando bases empotradas se aprecia una gran reducción de la misma con un valor de 1.27%, seguido de los casos con inclusión de IDSE con valores de 1.25% y 1.26%, por el método del ASCE41 y método de Gazetas

respectivamente, lo que para este caso en específico las variaciones en derivas son significantes, además estos resultados se mantuvieron en el nivel dos predominando el caso sismo X como se aprecia en la Figura 3.

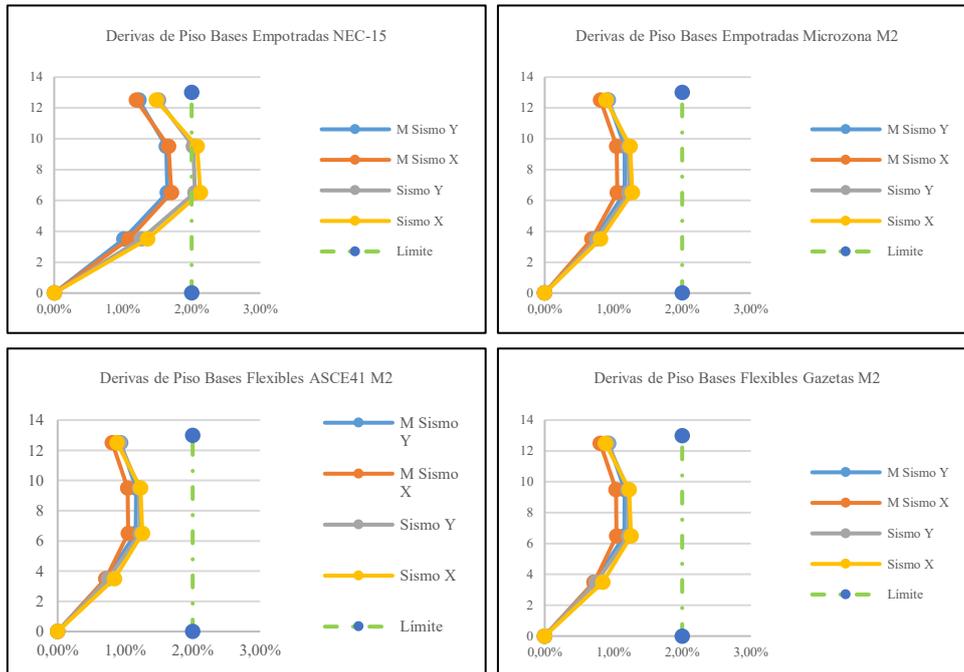


Figura 3: Derivas de Piso NEC-15 vs Microzona M2

Microzona M3: Partiendo con el modelo base (NEC-15, bases empotradas) con deriva máxima de 2.13%, ahora haciendo la inclusión del espectro tomado de la microzona M3, podemos observar valores inferiores al límite siendo 1.74% para el modelo con bases empotradas, para el modelo considerando IDSE por el método del ASCE41 con un valor de 1.69%, manteniendo estos resultados dentro del nivel dos de la estructura, finalmente 1.70% de deriva de piso para el método de Gazetas con la variación de que este resultado se presentó en el nivel tres de la estructura (ver Figura 4), atribuyendo esto a los modos de vibración, ya que si se quisiera considerar resultados lineales debería evaluarse la estructura solo a dos componentes x e y, así que la variación de los resultados se atribuye a la variación modal existente lo que provoca que el comportamiento de la estructura no sea lineal.

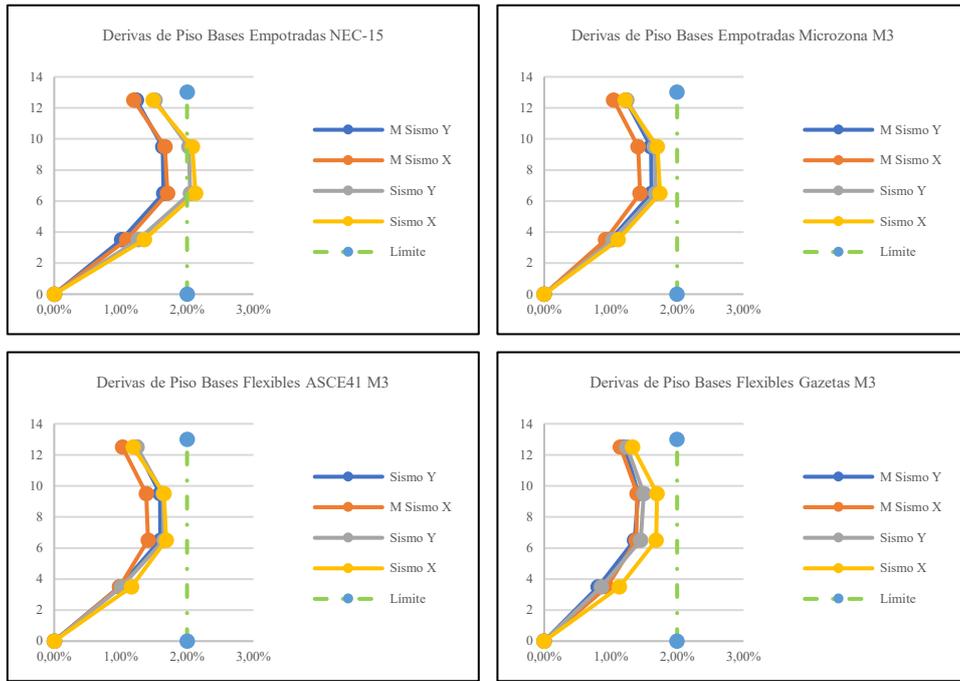


Figura 4: Derivas de Piso NEC-15 vs Microzona M3

Microzona M4: Para el caso de la microzona M4 partiendo que para diseños tradicionales el valor máximo de deriva es 2.13%, podemos observar un considerable aumento en las derivas de piso, siendo un 2.37% de deriva máxima para el caso que incluye el espectro de la microzona M4 conservando bases empotradas, 2.40% para el modelo con inclusión IDSE por método del ASCE41, finalmente el método de Gazetas con un valor de 2.13%, manteniendo estos resultados dentro del nivel dos de la estructura cómo se puede observar en la Figura 5.

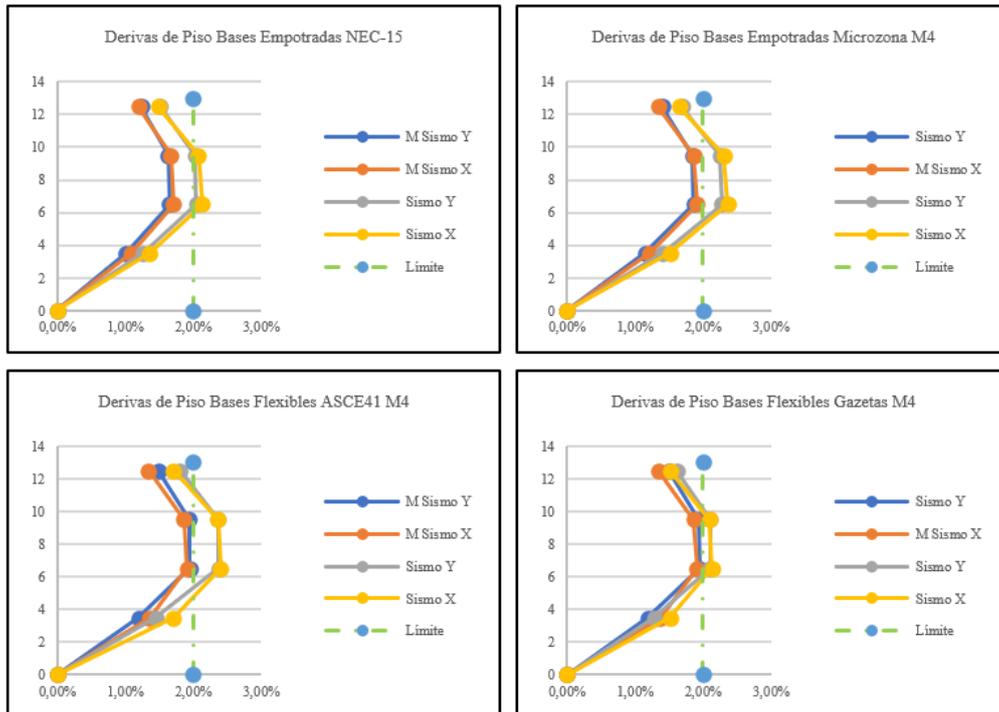


Figura 5: Derivas de Piso NEC-15 vs Microzona M4

3.2. Desplazamientos

La Tabla 3 muestra que la estructura al ser diseñada bajo parámetros tradicionales alcanzó un desplazamiento de 4.85 *cm*, que en comparación con la microzona M2 muestra considerables variaciones, para el modelo con bases empotradas alcanzando 2.91 *cm*, con un leve incremento en modelos con inclusión de IDSE de 2.93 *cm*, para los casos de la microzona M3 y M4 el comportamiento es similar, sin embargo la Microzona M4 supera considerablemente en desplazamientos al modelo base alcanzando hasta 5.77 *cm* en modelo con IDSE con espectro M4.

Tabla 3: Desplazamientos máximos

Microzonas	B.E	ASCE41	GAZETAS
NEC-15	4,85 cm	-	-
Microzona M2	2,91 cm	2,93 cm	2,93 cm
Microzona M3	3,98 cm	3,98 cm	4,06 cm
Microzona M4	5,40 cm	5,77 cm	5,14 cm

3.3. Cortantes Máximos

Los esfuerzos globales correspondientes a cortantes se aprecian en la Tabla 4, donde sobresale la microzona M4 alcanzando valores de hasta 412.85 *tn*, donde claramente supera al modelo que incluye el espectro NEC con bases empotradas que alcanza valores de 371.07 *tn*, para el caso de las microzonas M2 y M3 las fuerzas cortantes son inferiores notablemente a las del modelo base llegando a valores de 217.29 *tn*.

Tabla 4: Cortantes máximos globales

Microzonas	B.E	ASCE41	GAZETAS
NEC-15	371,07 tn	-	-
Microzona M2	222,31 tn	217,29 tn	217,29 tn
Microzona M3	304,21 tn	290,84 tn	254,06 tn
Microzona M4	412,85 tn	412,85 tn	364,38 tn

3.4. Variación de Esfuerzos

Para el chequeo de las variaciones de los esfuerzos se escogió la viga mayor forzada en el modelo base, con la finalidad de chequear la variación de sus demandas en los modelos con inclusión de IDSE, partiendo con 14.23 *tn* en esfuerzo a corte y 20.87 *tn – m* en esfuerzo a momento, existiendo apreciables variaciones de reducción en la microzona M2 misma que alcanza valores de hasta 11.70 *tn* en esfuerzo cortante y 15.23 *tn – m* en esfuerzo a momento, al contrario la microzona M4 muestra un claro aumento en las demandas en comparación con el modelo base mismo que es evidenciado en la Tabla 5.

Tabla 5: Esfuerzos en viga

Métodos	NEC-15		M2		M3		M4	
	V	M	V	M	V	M	V	M
B. E	14,23 tn	20,87 tn-m	11,74 tn	15,29 tn-m	12,77 tn	17,25 tn-m	14,93 tn	22,44 tn-m
ASCE	-	-	11,69 tn	15,22 tn-m	12,92 tn	18,00 tn-m	14,93 tn	22,55 tn-m
GAZETAS	-	-	11,70 tn	15,23 tn-m	12,34 tn	16,70 tn-m	14,17 tn	20,84 tn-m

3.5. Variación de cuantías

La influencia de los procesos de análisis en la variación de la cuantía es de mucha importancia, ya que dicho parámetro influye en la toma de decisiones dentro de un proyecto, para determinar la variación existente se optó por analizar la viga con mayor demanda en el modelo base, para así poder comparar su variación en los modelos propuestos. El diseño de la estructura presentó variaciones considerables, las variaciones mayormente significantes se dan en la microzona M2 con una reducción al rededor del 36% para cada método aplicado, seguido de la microzona M3 con una reducción alrededor del 20% y finalmente la microzona M4 que a diferencia de las anteriores tuvo un aumento alrededor del 10% en su cuantía.

3.6. Capacidad de columnas

El chequeo de las columnas se realizó con el previo diseño manual, por lo que una vez obtenido los armados estos fueron insertados al software Etabs, con la finalidad de precisar su radio de capacidad frente a las diferentes características planteadas en cada modelo. Partiendo de que la columna mayor forzada en el modelo base son las esquineras con un radio demanda/capacidad del 0.94 mismo que se encuentra dentro de los parámetros límites aceptables de diseño, lo que se contrarresta claramente con la microzona M2 donde la misma columna alcanza un radio demanda/capacidad de 0.50, seguido de la microzona M3 que alcanza un radio de demanda/capacidad de 0.74 y finalmente la microzona M4 que supera los límites establecidos para dicho parámetro alcanzando un radio demanda/capacidad de 1.06, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Radio de capacidad columnas

Microzonas	B.E			Gazetas			ASCE 41		
	Esquina	Centro	Lateral	Esquina	Centro	Lateral	Esquina	Centro	Lateral
NEC-15	0,94	0,73	0,84	-	-	-	-	-	-
M2	0,50	0,51	0,45	0,52	0,55	0,43	0,52	0,54	0,43
M3	0,74	0,63	0,66	0,66	0,62	0,53	0,77	0,67	0,59
M4	1,06	0,84	0,96	1,03	0,92	0,92	1,19	1,06	0,95

4. Discusión

En el presente estudio, se planteó analizar el desempeño de una estructura de hormigón armado, empleando métodos de cálculo tradicionales con parámetros establecidos por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015), frente a un análisis con características propias de sitio; la evaluación llevada a cabo demostró la importancia de hacer uso de las herramientas como lo son el estudio de microzonificación sísmica y los

métodos de interacción suelo estructura, ya que como lo indica Alcívar et al., (2021) evaluar las estructuras bajo dichas metodologías permite alcanzar un comportamiento más cercano a la realidad, lo que conlleva a la optimización de la estructura.

En el diseño estructural una edificación de gran resistencia es aquella que tiene la capacidad de resistir los efectos del sismo elásticamente, es decir que si la relación entre la fuerza y los desplazamientos son de forma lineal la estructura no presentaría daño, caso contrario ocurre en estructuras menos rígidas que presentan altos desplazamientos, lo que conlleva a una deformación inelástica que se traduce como daño al disipar energía (Suárez, 2009), por esto es de suma importancia hacer uso de estudios de sitio, como se evidencia en la Tabla 3 si nos basamos en diseños tradicionales como lo es la utilización de los espectros básicos propuestos por la NEC-15, podemos sobredimensionar la estructura como es el caso de la microzona M2 y M3, ya que los desplazamientos obtenidos en estas microzonas son de alrededor del 40% y 20% de reducción frente al modelo base, para el caso de la microzona M4 existe un aumento del desplazamiento alrededor del 12%, lo que se traduce como subdimensionamiento por parte de los métodos tradicionales de cálculo. En resultados similares se obtiene para el caso de cortantes máximos globales, variaciones de esfuerzos y capacidad de columnas, lo que realza aún más la importancia de utilizar estudios de sitio como lo es la microzonificación sísmica para la obtención de estructuras optimizadas que prioricen garantizar la integridad de la estructura.

Calderín et al., (2020) indica que, considerar el análisis con IDSE ante cargas sísmicas deja en evidencia que la flexibilidad de la base de cimentación está íntimamente relacionada con el período fundamental de la estructura, el amortiguamiento y la ductilidad, por lo tanto, como se apreció en el presente estudio los modelos que mantienen la condición de bases empotradas, aunque varíen los espectros específicos de cada microzona estudiada los valores de periodo se mantienen constantes, caso contrario ocurre al considerar la inclusión de la IDSE, misma que causó significantes variaciones en los periodos fundamentales de la estructura estudiada.

Los métodos para el análisis IDSE consideran además de la rigidez de la estructura, los coeficientes de amortiguamiento, lo que incide en las propiedades dinámicas de la estructura causando considerables variaciones en sus demandas (Calderín et al., 2020), como sucedió en el presente estudio que al considerar propiedades específicas de las zonas estudiadas, hubo apreciables variaciones en sus propiedades como en el caso de las cuantías de diseño, esfuerzos globales, derivas máximas de piso, periodos fundamentales, entre otras, por lo que seguir basando los diseños en metodologías tradicionales de cálculo es poco beneficioso.

Los efectos de la IDSE son únicos para cada estructura que sea estudiada, ya que estos varían acorde a las características del suelo, distribución estructural, número de pisos, nivel de empotramiento, entre otras, por lo que asumir que dicho análisis siempre causará un mismo efecto no es correcto, sin embargo, de acuerdo a lo expuesto por Rodríguez et al., (2017) se puede concretar que, los efectos de la IDSE dependen en gran medida con la rigidez que pueda presentar la estructura y a su vez la rigidez del suelo sobre el cual se encuentre asentada. Por esto los análisis con inclusión de IDSE más el uso de espectros específicos de sitios deberían siempre considerarse al menos en el diseño de estructuras de ocupación

especial y esencial, lo que para la mayoría de los calculistas estructurales es una gran limitante el no contar con estudios de microzonificación sísmica en muchas de las ciudades de Ecuador.

5. Conclusiones

Del análisis modal realizado se obtiene que, para la tipología estructural planteada la variación del periodo fundamental está estrechamente relacionada con la calidad del suelo, siendo el periodo para bases empotradas 0.72s hasta llegar a un periodo de 0.81s en modelos que consideran la interacción suelo-estructura.

La inclusión de los espectros tomados del estudio de microzonificación sísmica de la ciudad de Portoviejo más la inserción de la interacción dinámica suelo-estructura, mostró que, respecto a derivas de piso para aquellas estructuras que cuenten con una tipología estructural similar a la planteada, contarán con una considerable reducción de sus derivas para las microzonas M2 y M3. Caso contrario ocurre en la microzona M4, si la edificación es diseñada bajo parámetros conservadores como lo es seguir los procedimientos establecidos por la NEC-15, causaría un subdimensionamiento a la estructura, ya que, al estar dentro de una microzona con suelos blandos, esta causa aumentos considerables en sus demandas con respecto al modelo conservador.

Para el caso de esfuerzos localizados, cortantes globales y desplazamientos máximos, se puede concluir que siguiendo métodos conservadores de diseño puede ser perjudicial, debido a que si se considera características de sitio los resultados varían en gran o poca medida, lo que se traduce como sobredimensionamiento para los casos de las microzonas M2 y M3, y subdimensionamiento para el caso de suelos blandos como lo es la microzona M4.

El contar con un estudio de microzonificación sísmica ayuda a la optimización de la estructura, ya que se evaluará bajo condiciones específicas de sitio, además la inclusión de la interacción suelo-estructura permite aproximar de manera más acertada al comportamiento de la estructura por lo que es prioritario realizar dichas inclusiones.

Contribuciones de los autores

En concordancia con la taxonomía establecida internacionalmente para la asignación de créditos a autores de artículos científicos (<https://casrai.org/credit/>). Los autores declaran sus contribuciones en la siguiente matriz:

	Arteaga, A.	Cevallos, J.
Conceptualización		
Análisis formal		
Investigación		
Metodología		
Recursos		
Validación		
Redacción – revisión y edición		

Conflicto de Interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna con la presente investigación.

Referencias

- Aguiar, R., & Ortiz, D. (2017). Análisis Sísmico de un Edificio de Doce Pisos de la Ciudad de Manta Considerando Interacción Suelo Estructura. *Revista Internacional de Ingeniería De Estructuras*, 22(03), 251–279. <https://doi.org/10.24133/riie.v22i3.646>.
- Alcívar, S., Mielles, Y., & Ostaiza, J. (2021). Estudio Comparativo de Análisis y Diseño de Estructuras Aporticadas de Hormigón Armado, Aplicando los Espectros de la Microzonificación Sísmica del Cantón y los Espectros de la NEC-15. *Revista Riemat*, 6(01), 26–35. <https://doi.org/10.33936/riemat.v6i1.3687>
- Alvarado Alcívar, K., & Bernal Carrera, I. (2017). *Mapa de Microzonificación Geotécnico y Modelo Geológico-Geotécnico 3d de la Ciudad de Portoviejo* [tesis de grado]. Escuela Politécnica Nacional.
- Araca Llanos, F., Gómez Catacora, L., Cahui Galarza, A., & Marín Mamani, G. (2020). Influence of Soil-Structure Interaction on the Behaviour of Houses Framed With Isolated Footings in the City Of Juliaca. *Revista Científica de la UCSA*, 7(2), 70–81. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2020.007.02.070>
- Avilés, J., & Pérez Rocha, L. (2004). Bases Para las Nuevas Disposiciones Reglamentarias Sobre Interacción Dinámica Suelo-Estructura. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (71), 1–36. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61807101>
- Bazán Zurita, E., & Meli Piralla, R. (2002). *Manual de Diseño Sísmico de Edificios*. Noriega Editores.
- Botero Palacio, J., Jaramillo Fernández, J., & Rochel Awad, R. (2004). Evaluación de los Efectos Inerciales de Interacción Dinámica Suelo-Estructura para Edificaciones Ubicadas en Medellín. *Revista Universidad EAFIT*, 40(134), 90–104.
- Calderín-Mestre, F., Almenarez-Labañino, D., & Boada-Fernández, D. (2020). Consideración del Fenómeno Interacción Suelo-Estructura en Edificio Prefabricado. *Ciencia en su PC*, 1(04), 79–94. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181366194007>
- Cedeño Zambrano, H. G., Cedeño Zambrano, L. S., & Cedeño Delgado, T. G. (18-20 de septiembre de 2019). Ciudad Compacta Versus Ciudad Difusa. Análisis pre- y post- Terremoto en Ciudad Intermedia. Portoviejo, Ecuador. *III ISUF-H Congreso Internacional 18-20 Septiembre Guadalajara México*. <https://doi.org/10.4995/isufh2019.2019.9978>
- Chunga, K., Pilay, E., & Solano, V. (2019). *Caracterización Geotécnica Y Microzonificación Sísmica en el Área Urbana de la Ciudad de Pelileo, Provincia de Tungurahua* [tesis de grado]. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Díaz Guzmán, F., Espinoza Barreras, F., Sánchez Vergara, R., & Huerta López, C. (2012). *Respuesta dinámica de un edificio considerando el efecto de interacción suelo-estructura*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- Fernández Limés, A., Fernández Lorenzo, I., & Cobelo Cristiá, W. D. (2023). Influencia de la interacción suelo-estructura estática en edificios de 100 metros de altura. *Ingeniería y Desarrollo*, 41(02), 213–232. <https://doi.org/10.14482/inde.41.02.201.456>
- Fernández Sola, R., Tapia Hernández, E., & Dávalos Chávez, D. (2015). Respuesta Inelástica de Marcos de Acero con Interacción Inercial Suelo-Estructura. *Ingeniería Sísmica*, (92), 1–21. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2015000100001&lng=es&tlng=es.
- Fundora Sautié, N., Braña Nuez, P., Gamón Payret, R., & Martínez Cid, J. O. (2022). Influencia de la Altura en la Consideración de la Interacción Dinámica Suelo-Estructura en Edificaciones con Tipología mixta

- Ubicadas en Zonas de Alto Peligro Sísmico. *Ingeniería y Desarrollo*, 40(01), 6–27. <https://doi.org/10.14482/inde.40.01.621.852>
- Jurado Cabañes, C. (2012). *Problema de ISE en cimentaciones y muros de contención. Influencia de los fenómenos de despegue y deslizamiento* [tesis doctoral]. Universidad Politécnica de Madrid.
- López, N., Pérez, G., Castro, C., Vielma, J., López, L., Alviar, J., Romero, C., Guerrero, D., & Montesinos, V. (2022). A Structural Design Comparison Between Two Reinforced Concrete Regular 6-Level Buildings Using Soil-Structure Interaction in Linear Range. *Ingeniería e Investigación*, 42(01). <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v42n1.86819>
- Morales, L., & Espinosa, A. (2020). 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*, 3(1), 5–26. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v3i1.2391>
- NEHRP. (2012). *Soil-Structure Interaction for Building Structures* (NIST GCR 13-917-21). <https://www.nehrp.gov/pdf/nistgcr12-917-21.pdf>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente (NEC-SE-DS)*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>
- Olivera, R., & Villareal, G. (2023). Interacción Suelo-Estructura para edificaciones con platea de cimentación por los modelos estático y dinámico. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, 25, 137-171. <https://doi.org/10.36561/ing.25.9>
- Rodríguez, A., Mora, B., Reyes-Salazar, A., Avilés, J., & Ruiz Gómez, S. E. (2017). Determinación de Espectros de Respuesta Considerando Daño Acumulado e Interacción Suelo-Estructura. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 96(01), 18–38. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2017000100018&lng=es&tlng=es.
- Suárez, V. (2009). Diseño Basado en Desplazamientos, una Alternativa Racional al Diseño Basado en Fuerzas. *Revista Tecnológica ESPOL-RTE*, 22(02), 47–59. <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/130/74>
- Tapia Hernández, E., De Jesús Martínez, Y., & Fernández Sola, L. (2017). Demandas Sísmicas en Edificios Regulares de Acero con Cimentaciones Flexibles. *Ingeniería Sísmica*, (96), 1–17. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2017000100001&lng=es&tlng=es.
- Tena Colunga, A. (2019). Soil-structure interaction. Reflections about its importance in the dynamic response of structures during earthquakes. *Revista Internacional de Ingeniería*, 24(2), 141–165. [10.24133/riie.v24i2.1282](https://doi.org/10.24133/riie.v24i2.1282)
- Villareal Castro, G. (2009). *Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones con zapatas aisladas*. Asamblea Nacional De Rectores.
- Villareal Castro, G., & Aguila Gómez, T. (2021). Soil-Structure Interaction and its Influence on the Seismic Response of RC Buildings. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26(03), 426–471. <https://doi.org/10.24133/riie.v26i3.2336>