

## DETERMINATION OF SEISMIC SOIL–STRUCTURE INTERACTION IN SHEAR-WALL BUILDINGS ON SLOPING GROUND

## DETERMINACIÓN DE LA INTERACCIÓN SÍSMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICIOS CON MUROS DE CORTE EN TERRENO INCLINADO

Vicente, Fuentealba Reyes<sup>1</sup>; Juan Carlos, Vielma Pérez<sup>2</sup>; Edgar Giovanni, Diaz-Segura<sup>3</sup>

*Recibido 28/01/2026; Evaluado: 15/05/2026; Aprobado: 30/05/2026*

DOI: <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica272.2>

### ABSTRACT

In structural practice, it is common to assume rigid foundations when modelling structures. However, this simplification neglects the actual effects of soil–structure interaction (SSI), which may lead to underestimation of the seismic response. This study evaluates such interaction in mid-rise shear-wall buildings located on slopes of 0°, 15°, 30°, and 45°, through nonlinear dynamic analyses performed using SeismoStruct. Real Chilean seismic records, including those from Angol and Valparaíso, among others, were applied, incorporating link-type models in accordance with FEMA P-2091 to represent dynamic stiffnesses. Displacements, interstory and global drifts, shear forces, and structural damage were analyzed. The results show that SSI and ground inclination significantly influence the dynamic response of the system, particularly in structures with high lateral stiffness. This study provides practical recommendations for seismic design in areas with irregular topography, promoting a more realistic representation of structural behavior.

**Keywords:** *soil–structure interaction; nonlinear seismic analysis; structures on sloping ground*

### RESUMEN

En la práctica estructural, es común suponer fundaciones rígidas al modelar estructuras, esta simplificación excluye los efectos reales de la interacción suelo-estructura (ISE), generando subestimaciones en la respuesta sísmica. Este estudio evalúa dicha interacción en edificios medianos fundados en muros de corte y ubicados en terrenos con pendientes de 0°, 15°, 30° y 45°, mediante análisis dinámicos no lineales en el software Seismostruct. Se aplicaron registros sísmicos chilenos reales (Angol, Valparaíso, etc.), incorporando modelos tipo “link” conforme al FEMA P-2091 para representar las rigideces dinámicas. Se analizaron desplazamientos, derivas de entrepiso y globales, esfuerzos cortantes y daño estructural. Los resultados muestran que la ISE y la inclinación del terreno influyen significativamente en la respuesta dinámica del sistema, especialmente en estructuras con alta rigidez lateras. Este estudio entrega recomendaciones prácticas para el diseño sísmico en zonas con topografía irregular, promoviendo una representación más realista del comportamiento estructural.

**Palabras clave:** *interacción suelo-estructura; análisis sísmico no lineal; estructuras en pendiente*

---

<sup>1</sup>Vicente, Fuentealba Reyes. Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (ROR:02cafb77). Chile. Correo: [vicente.fuentealba.r@mail.pucv.cl](mailto:vicente.fuentealba.r@mail.pucv.cl) ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-8317-2241>

<sup>2</sup>Juan Carlos, Vielma Pérez. Ingeniero Civil. Magister Scientiae en Ingeniería Estructural, Universidad de Los Andes, Venezuela. Doctor per la Universitat Politècnica de Catalunya, España. Docente Investigador de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (ROR:02cafb77). Chile. Correo: [juan.vielma@pucv.cl](mailto:juan.vielma@pucv.cl) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5426-2215>

<sup>3</sup>Edgar Giovanni, Diaz-Segura. Doctor en Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. (ROR:02cafb77). Chile. Correo: [edgar.diaz@pucv.cl](mailto:edgar.diaz@pucv.cl) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8534-5387>

## 1. INTRODUCCIÓN

En el análisis estructural tradicional, es común asumir que los edificios se encuentran fundados sobre una base completamente rígida, lo cual implica que tanto las fundaciones como el suelo de soporte no presentan deformaciones significativas. Esta simplificación facilita el modelado y reduce la complejidad computacional, pero también introduce errores relevantes en la estimación de la respuesta sísmica de la estructura, ya que omite los efectos de la interacción suelo-estructura (ISE). Este fenómeno ocurre cuando el terreno y la superestructura se influyen mutuamente durante una sollicitación dinámica, como un sismo, generando alteraciones en los desplazamientos, esfuerzos internos y modos de vibración del sistema.

La ISE cobra especial importancia en edificaciones situadas sobre terrenos inclinados, como ocurre comúnmente en ciudades costeras y zonas con topografía irregular, por ejemplo, en la región de Valparaíso en Chile. En estas condiciones, la distribución de cargas, rigideces y geometría de las fundaciones se ve alterada, generando efectos de excentricidad que no pueden ser despreciados. La omisión de estos factores puede conducir a subestimar la demanda estructural y comprometer la seguridad sísmica del edificio.

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar los efectos de la interacción suelo-estructura en edificaciones de mediana altura, fundadas sobre muros de corte y ubicadas en pendientes de 0°, 15°, 30° y 45°. Para ello, se modelaron las estructuras en el software Seismostruct 2025 [1], incorporando condiciones de apoyo mediante elementos tipo link calculados según el método propuesto por la guía FEMA P-2091 [2], el cual permite determinar las rigideces dinámicas del sistema suelo-cimentación. Este enfoque permite comparar la respuesta sísmica de modelos empotrados y modelos con ISE en distintas configuraciones de terreno.

La metodología incluyó la aplicación de registros sísmicos reales de eventos ocurridos en Chile, tales como Angol en 2010 y

Valparaíso en 2015, los cuales fueron utilizados para ejecutar análisis dinámicos no lineales en el dominio tiempo-historia. Se evaluaron variables críticas como los desplazamientos máximos, las derivas de entrepiso, las derivas globales, los esfuerzos cortantes basales y el daño estructural, permitiendo establecer el impacto específico que tiene la ISE sobre cada una de ellas.

Este artículo busca aportar al entendimiento del comportamiento sísmico de estructura fundadas en terrenos inclinados, resaltando la necesidad de incorporar la flexibilidad de la fundación en el diseño estructural. Asimismo, entrega lineamientos prácticos para profesionales del área, a fin de lograr un diseño sísmico resistente más realista, eficiente y seguro en contextos topográficos complejos.

## 2. DESARROLLO

La interacción suelo-estructura (ISE) corresponde a la influencia mutua entre el suelo y la estructura durante una carga dinámica, especialmente sísmica [3,4]. A diferencia del modelo convencional de base rígida, la ISE considera la deformabilidad del terreno y de las fundaciones, lo cual modifica la respuesta global del sistema estructural. Este fenómeno puede generar tanto efectos inerciales, que cambian los modos de vibración y periodos, como cinemáticos, que alteran la transmisión del movimiento desde el terreno hacia la superestructura [4,5].

Los efectos más relevantes de la ISE incluyen: aumento del periodo fundamental, cambios en la aceleración espectral, incremento de desplazamientos y derivas, y aparición de modos rotacionales o torsionales. El reconocimiento de estos efectos ha motivado la inclusión de modelos más realistas en los procesos de diseño sísmico, particularmente en edificaciones fundadas sobre suelo compresible o en terrenos con pendiente.

### 2.1. Modelos Computacionales de ISE: Enfoques y Limitaciones

Existen dos grandes enfoques para modelar la ISE: el análisis directo, que considera suelo y estructura en un mismo modelo con elementos finitos tridimensionales; y el método de

subestructura, que modela la estructura por separado y representa la influencia del suelo mediante resortes y amortiguadores [6,7].

Este estudio adopta el método de subestructura por su equilibrio entre precisión y simplicidad computacional [7,8]. Se implementó en Seismostruct utilizando elementos tipo “link”, con rigideces horizontales, verticales y rotacionales obtenidas del FEMA P-2091. Este método permite capturar el efecto de la flexibilidad de la fundación sin recurrir a modelos tridimensionales complejos [2,9].

## 2.2. Fundamentos del FEMA P-2091 y Modelación de Rigideces Dinámicas

El FEMA P-2091 proporciona una guía práctica para incorporar la ISE mediante modelos tipo Winkler, que representan el suelo como un medio continuo discretizado. A partir de dimensiones de zapata (largo, ancho, profundidad) y parámetros del suelo (módulo de corte, Poisson), se calculan las rigideces básicas y luego se modifican mediante factores correctivos por empotramiento [2].

En este trabajo se emplearon las ecuaciones propuestas por Pals y Kausel para determinar las rigideces verticales ( $K_z$ ), horizontales ( $K_x$ ) y rotacionales ( $K_{yy}$ ), aplicando factores de

corrección  $\eta$  según la profundidad relativa de la zapata [2,9].

Cuando el terreno presenta pendiente, la distribución de cargas y rigideces entre muros se vuelve asimétrica. Esto produce una alteración en la distribución modal y un incremento en la respuesta dinámica. En pendientes de  $15^\circ$  o más, los efectos se intensifican debido a la excentricidad inducida, especialmente en sistemas basados en muros de corte. Este tipo de escenarios es frecuente en zonas urbanas chilenas como Valparaíso, donde muchas construcciones se sitúan sobre laderas naturales. Ignorar la influencia de la pendiente puede llevar a diseños no conservadores que subestimen derivas, desplazamientos y esfuerzos cortantes.

Para evaluar la influencia de la ISE, se seleccionaron registros sísmicos reales representativos de la sismicidad chilena, incluyendo los terremotos de Maule (2010), Coquimbo (2015), Puerto Quellón (2016) y Valparaíso (2015) (ver Tabla 1). Cada sismo fue aplicado en ambas direcciones principales ( $90^\circ$  y  $360^\circ$ ), escalado y procesado para cumplir con la normativa chilena (NCh 433 mod.2012) [10].

**Tabla 1.** Registros sísmicos en zona de subducción chilena a utilizar. Fuente: los autores

Sismo	Fecha	Magnitud (Hz)	Estación	Distancia Epicentro (km)	Componente	PGA ( $\text{cm/s}^2$ )
Maule	27-02-2010	8,8	Angol	209	E-W	684
					N-S	916
Maule	27-02-2010	8,8	Concepción San Pedro	109	97	598
					7	667
Maule	27-02-2010	8,8	Constitución	70	E-W	530
					N-S	618
Maule	27-02-2010	8,8	Llolleo	274	E-W	324
					N-S	549
Maule	27-02-2010	8,8	Santiago Maipú	69	E-W	481
					N-S	549
Coquimbo	16-09-2015	8,3	El pedregal	92	90	677
					360	561
Coquimbo	16-09-2015	8,3	Tololo	175	90	234
					360	338
					90	268
Coquimbo	16-09-2015	8,3	San Esteban	168	360	182
					90	136
					360	148
Puerto Quellón	25-12-2016	7,6	Loncomilla	169	90	371
					360	350
Puerto Quellón	25-12-2016	7,6	Hotel espejo De Luna	170	90	371
					360	350
Valparaíso	24-07-2015	6,9	Torpederas	171	90	889
					360	889

Se ejecutaron análisis historia-tiempo no lineal en Seismostruct para modelos empotrados y con ISE, en las pendientes antes mencionadas. Las principales variables de salida fueron: desplazamientos máximos, derivas entre pisos, corte basal, momento base y daño estructural.

### 3. METODOLOGÍA

El estudio se desarrolló mediante un enfoque numérico, utilizando el software SeismoStruct 2025 para modelar edificios de mediana altura basados en muros de corte, ubicados en terrenos con distintas pendientes. La metodología se organizó en tres etapas principales:

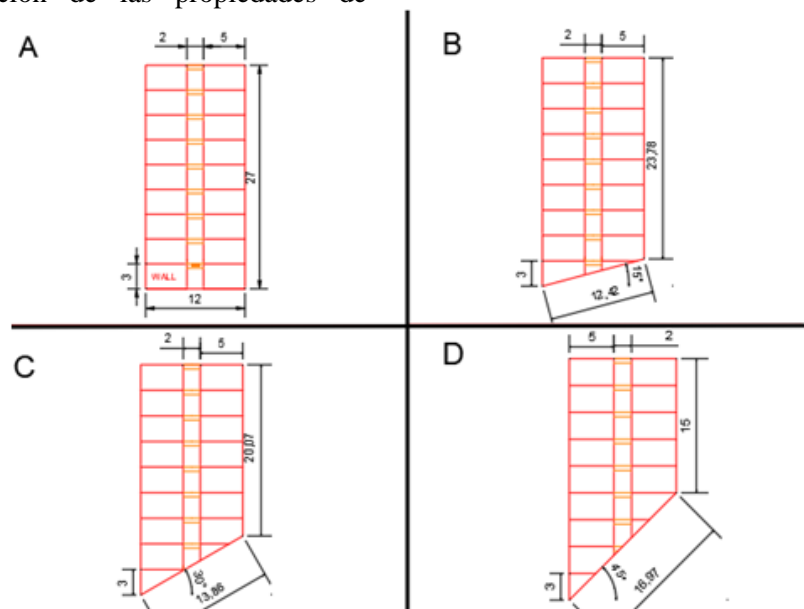
- Definición de los modelos estructurales
- Determinación de las propiedades de

fundación y parámetros de ISE según FEMA P-2091 [2]

- Ejecución de análisis dinámico en el dominio tiempo-historia.

#### 3.1. Definición de Modelos Estructurales

Se desarrollo cuatro modelos representativos de edificios de nueve pisos, todos diseñados mediante las normativas chilenas correspondientes NCh433.Of1996 [10], NCh1537.Of2009 [11], NCh3171.Of2010 [12] y con muros de hormigón armado (W24 y W16) y vigas de entrepiso como elementos de rigidez transversal. Los modelos fueron generados en dos dimensiones (plano Y-Z) con pendientes de 0°, 15°, 30° y 45° (Figura1).



**Figura 1.** Modelos estructurales para distintas pendientes A) Pendiente de 0°, B) Pendiente de 15°, C) Pendiente de 30°, D) Pendiente de 45°. Fuente: los autores

#### 3.2. Propiedades de los Materiales

Los elementos estructurales fueron definidos con:

- Hormigón G35 ( $f_c' = 35\text{MPa}$ , Modelo no lineal de Mander et al. para concreto - con\_ma [1])

- Acero A630-420H ( $f_y = 420\text{MPa}$ , modulo  $E = 200\text{GPa}$ ).

Estas propiedades se implementaron en SeismoStruct para capturar el comportamiento no lineal histerético de los materiales bajo sollicitación sísmica. Las propiedades mecánicas se detallan en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Propiedades mecánicas de los materiales. Fuente: los autores

<b>Hormigón G35</b>		
<b>Resistencia a la compresión</b>	45500	[kPa]
<b>Resistencia a la tracción</b>	3361	[kPa]
<b>Módulo de elasticidad</b>	3,17E+07	[kPa]
<b>Peso específico</b>	24	[kN/m <sup>3</sup> ]
<b>Acero A630-420H</b>		
<b>Módulo de elasticidad</b>	2,00E+08	[kPa]
<b>tensión de fluencia</b>	491400	[kPa]
<b>Peso Especifico</b>	78	[kN/m <sup>3</sup> ]

### 3.2. Fundaciones y parámetros de interacción suelo-estructura

Las fundaciones fueron modeladas mediante elementos tipo “link” definidos como resortes verticales, horizontales y rotacionales. Sus rigideces se calcularon aplicando las expresiones de Pals y Kausel (1998) [9], incorporadas en el FEMA P-2091, considerando:

- Ancho y largo de zapata (B y L)
- Profundidad de empotramiento (D)
- Parámetros de suelo (Modulo de corte G, Coeficiente de Poisson  $\nu$ )

$$K_{z,sur} = \frac{GB}{1-\nu} \left[ 3.1 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.75} + 1,6 \right] \quad (1)$$

$$K_{yy,sur} = \frac{GB^3}{1-\nu} \left[ 3.73 \left( \frac{L}{B} \right)^{2.4} + 0.27 \right] \quad (2)$$

$$K_{x,sur} = \frac{GB}{2-\nu} \left[ 6.8 \left( \frac{L}{B} \right)^{0.65} + 2,4 \right] \quad (3)$$

Se incluyeron factores de corrección por profundidad de empotramiento para cada grado de libertad.

$$\eta_z = \left[ 1.0 + \left( 0.25 + \frac{0.25}{\frac{D}{B}} \right) \left( \frac{D}{B} \right)^{0.8} \right] \quad (4)$$

$$\eta_x = \left[ 1.0 + \frac{D}{B} + \left( \frac{1.6}{0.35 + \left( \frac{L}{B} \right)^4} \right) \left( \frac{D}{B} \right)^2 \right] \quad (5)$$

$$\eta_{ry} = \left[ 1.0 + \left( 0.33 + \frac{1.34}{1 + \frac{L}{B}} \right) \left( \frac{D}{B} \right)^{0.8} \right] \quad (6)$$

Finalmente, los resultados para los elementos tipo “link” mediante las expresiones de Pals y Kausel [9], que fueron incorporados en el FEMAP P-2091 se reflejan en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Cuadro resumen de rigideces dinámicas finales según FEMA P-2091 [2]. Fuente: los autores

Modelo	Muro	$\eta_z$	$\eta_x$	$\eta_{ry}$	$K_{z,final} \left[ \frac{kN}{m} \right]$	$K_{x,final} \left[ \frac{kN}{m} \right]$	$K_{yy,final} \left[ \frac{kNm}{rad} \right]$
0°	W16	1.319	1.660	1.877	456974	460594	4638403
0°	W24	1.319	1.660	1.877	456974	460594	4638403
15°	W16	1.319	1.660	1.877	456974	460594	4638403
15°	W24	1.331	1.688	1.916	441267	446835	4441500
30°	W16	1.319	1.660	1.877	456974	460594	4638403
30°	W24	1.346	1.720	1.971	425439	432512	4263142
45°	W16	1.319	1.660	1.877	456974	460594	4638403
45°	W24	1.346	1.710	1.971	425439	431512	4263142

### 3.3. Tipos de Análisis Realizados

Se ejecutaron los siguientes análisis en cada modelo:

- Análisis modal espectral: determinación del periodo fundamental y formas modales
- Análisis dinámico no lineal tiempo-

historia: evaluación de respuesta ante registros sísmicos reales, considerando modelos con base rígida y con ISE

Los parámetros de salida analizados fueron:

- Desplazamientos máximos de entrepiso y globales
- Derivas de entrepiso (%)
- Esfuerzo cortante basal
- Momento en la base

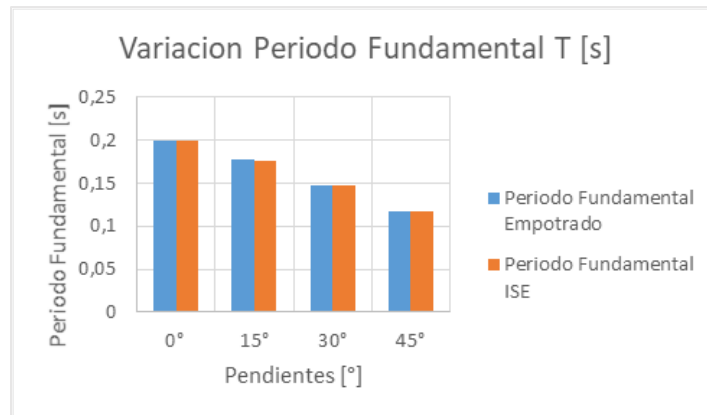
#### 4. RESULTADOS

Los resultados se presentan diferenciando los análisis modales y los análisis dinámicos no lineales en el dominio tiempo-historia, con el fin de comparar el comportamiento de los modelos empotrados frente a los modelos con

interacción suelo-estructura (ISE) en distintas pendientes ( $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$  y  $45^\circ$ ).

##### 4.1. Análisis Modal

El análisis modal por eigenvalores permitió determinar los periodos fundamentales de vibración de cada modelo. En general, se observó que la inclusión de la ISE produjo un incremento en el periodo en todas las pendientes, debido a la reducción de la rigidez global del sistema al considerar la flexibilidad de la fundación. La pendiente del terreno también influyó, evidenciándose un aumento adicional del periodo a medida que la inclinación se incrementa, lo que refleja la pérdida de simetría y la redistribución de rigideces laterales (Figura 2).

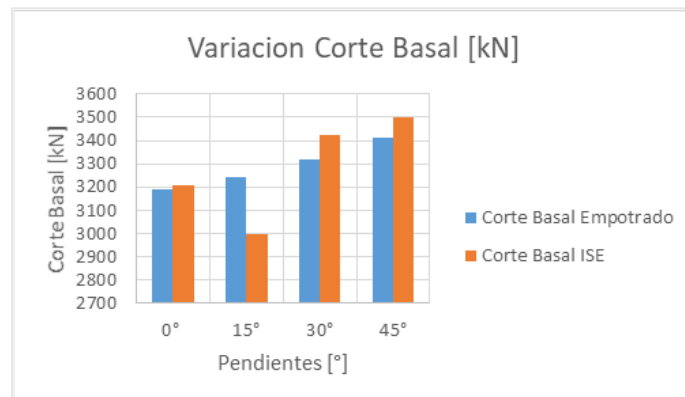


**Figura 2.** Variación del periodo fundamental en segundos para condición empotrada e ISE para distintas pendientes. Fuente: los autores

##### 4.2. Esfuerzo Cortante Basal

Los resultados de esfuerzo cortante basal mostraron que, en condiciones de pendiente

nula ( $0^\circ$ ), los modelos empotrados alcanzaron mayores valores de corte en comparación con los modelos con ISE, lo que se explica por la mayor rigidez en la base.



**Figura 3.** Variación del periodo corte basal en kilo Newton para condición empotrada e ISE para distintas pendientes. Fuente: los autores

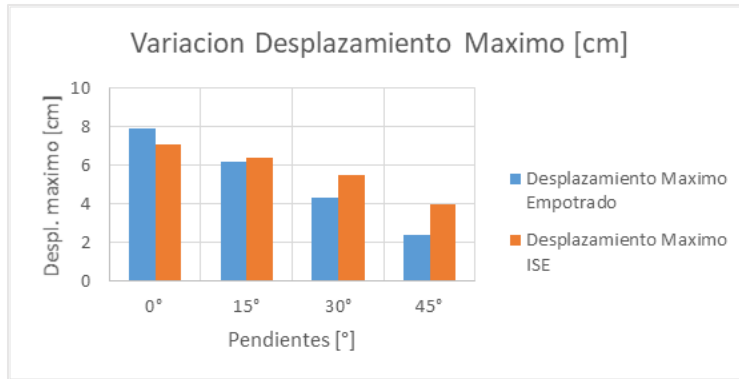
Sin embargo, a medida que la pendiente aumentó, el efecto de la ISE se tornó más relevante, reduciendo la capacidad de disipar fuerzas en la base y generando variaciones significativas en la distribución de esfuerzos (Figura 3).

### 4.3. Desplazamientos Máximos

Se registraron incrementos notables en los

desplazamientos máximos en los modelos con ISE respecto a los empotrados.

En algunos casos, la diferencia alcanzó hasta un 40%, especialmente en los niveles superiores de la estructura. La pendiente acentuó este efecto, ya que generó excentricidades que amplificaron la respuesta lateral (Figura 4).

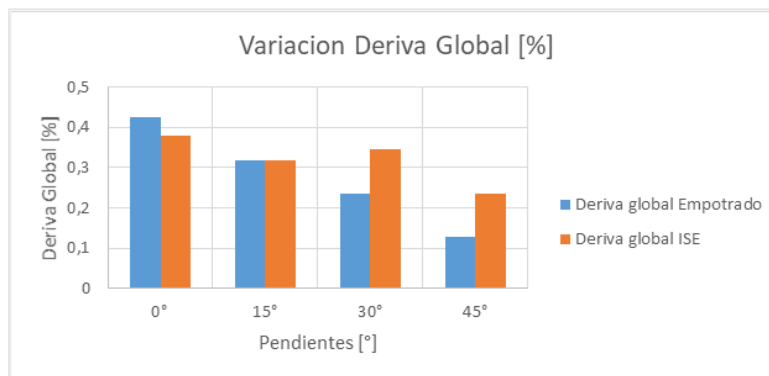


**Figura 4.** Variación del desplazamiento máximo en centímetros para condición empotrada e ISE para distintas pendientes. Fuente: los autores

### 4.4. Deriva Global

Las derivas de entrepiso fueron uno de los parámetros más sensibles a la ISE. Se observó un incremento progresivo de las derivas en los modelos con fundación flexible, superando en

algunos casos el límite normativo del 2% en las pendientes más altas. En comparación, los modelos empotrados presentaron derivas menores, pero menos realistas frente a la condición de pendiente (Figura 5).

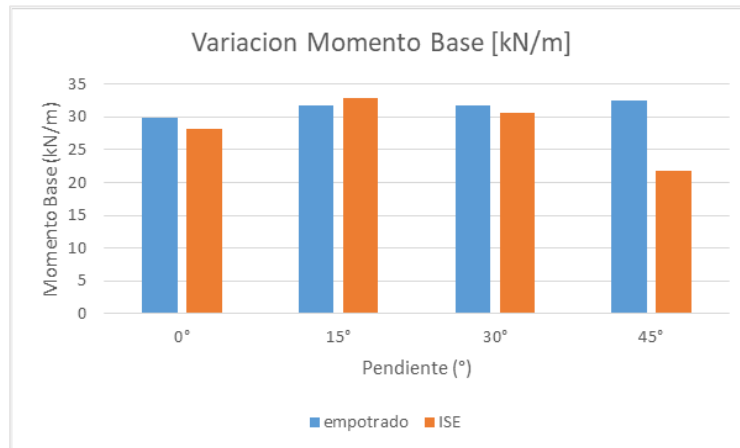


**Figura 5.** Variación de las derivas globales en porcentaje para condición empotrada e ISE para distintas pendientes. Fuente: los autores

### 4.4. Momento en la Base

Se observó una variación no lineal del momento base en función de la pendiente del terreno. Esta respuesta evidencia como la

flexibilidad de la fundación, combinada con los efectos geométricos inducidos por la inclinación, modifica significativamente el mecanismo de transmisión de momentos hacia la base (Figura 6).



**Figura 6.** Variación de las derivas globales en porcentaje para condición empotrada e ISE para distintas pendientes. Fuente: los autores

## 5. CONCLUSIONES

El análisis numérico realizado evidenció que la Interacción Suelo-estructura (ISE) tiene una incidencia directa en la respuesta sísmica de los edificios en base a muros de corte, modificando tanto la rigidez dinámica como la distribución de esfuerzos en función de la pendiente del terreno. Los resultados provocan, en general, un aumento en los desplazamientos laterales y derivas de entrepiso, acompañado de una reducción de corte basal respecto del modelo empotrado, efecto que se acentúa a medida que la pendiente se incrementa.

En el caso de pendiente nula ( $0^\circ$ ), los modelos con ISE presentan incrementos de desplazamiento promedio entre 30 y 40%, junto con reducciones del corte basal de hasta 15% en comparación con los modelos empotrados. Este comportamiento se asocia al alargamiento del periodo fundamental causado por la flexibilidad de la fundación y al aumento del amortiguamiento radiacional, coherente con lo planteado en el FEMA P-2091. Sin embargo, el cambio en el periodo no resulta drástico (menor al 10%), debido a que el edificio estudiado presenta una masa estructural significativa y una base rígida asociada a muros de corte, lo que limita la participación modal de los modos de fundación.

Para la pendiente de  $15^\circ$ , se observa un comportamiento inverso respecto a la

tendencia general: el corte basal es mayor en el modelo con ISE que en el empotrado. Este fenómeno puede explicarse por una combinación de factores: En este rango de inclinación moderada, el sistema aun no alcanza una pérdida significativa de rigidez lateral como en pendientes mayores, pero si presenta una reducción del espectro de aceleración efectiva debido al alargamiento del periodo por efecto de la ISE. Este fenómeno puede producir una menor fuerza inercial global en comparación con el sistema empotrado, que permanece rígido y por lo tanto, atrapa una mayor cantidad de energía sísmica, resultando en un corte basal más elevado.

A medida que la pendiente aumenta a  $30^\circ$  y  $45^\circ$ , los efectos de la ISE se vuelven más evidentes. Se registran mayores derivas globales, especialmente en los niveles superiores, debido a la pérdida de simetría estructural y la reducción de rigidez lateral efectiva. En pendientes pronunciadas, la rotación de la base y el deslizamiento diferencial entre fundaciones provocan una redistribución del esfuerzo cortante, reduciendo el corte basal total, pero incrementando los desplazamientos máximos. En estos casos, el comportamiento global tiende a ser más flexible y amortiguado, reflejando una disipación de energía más efectiva pero también un aumento en las demandas de deformación.

El análisis modal confirma que las variaciones

del periodo fundamental son moderadas, con aumentos máximos cercanos al 8-12% entre los casos empotrados e ISE. Esta estabilidad se debe a que el sistema estructural gobernado por muros de gran rigidez lateral, que limitan la contribución de la flexibilidad del suelo en la frecuencia dominante. No obstante, en las pendientes mayores, los modos de vibración presentan una mayor participación rotacional u acoplamiento entre traslación y giro, lo que altera la forma modal y justifica las mayores derivas globales observadas.

El análisis del momento base muestra un no escalamiento directamente con los desplazamientos máximos ni con el alargamiento del periodo. En realidad, los resultados reflejan una interacción compleja entre rigidez estructural, flexibilidad de fundación y geometría del terreno, donde la pendiente genera un efecto transitorio en 15° (incremento), seguido de una reducción para pendientes mayores (30° y 45°).

En síntesis, los resultados demuestran que la consideración de la interacción suelo-estructura modifica significativamente la demanda sísmica efectiva de los edificios fundados sobre terrenos inclinados. Ignorar este fenómeno puede conducir a una subestimación de desplazamientos y derivas de entrepiso de hasta un 40%, y una mala estimación del corte basal y del daño estructural, especialmente en pendientes intermedias como 15°, donde la respuesta no sigue un patrón lineal. Por tanto, la ISE debe ser incorporada en el diseño sismo resistente de edificaciones en zonas con topografía irregular, pues su influencia no solo depende del tipo de suelo, sino también de la configuración geométrica y del grado de pendiente del terreno

## 6. FINANCIAMIENTO

La investigación que ha dado origen a este artículo no ha recibido el aporte financiero.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Escuela de Ingeniería Civil de la PUCV por el apoyo brindado para la realización de esta investigación.

## 8. CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

## 9. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, J.C.V. y G.D.-S.; metodología, J.C.V. y G.D.-S.; Software, V.F.; validación, J.C.V. y G.D.-S.; análisis formal, V.F. y J.C.V.; investigación, V.F., J.C.V. y G.D.-S.; Recursos, V.F.; datos curaduría, J.C.V.; redacción—preparación del borrador original, V.F.; redacción—revisión y edición, J.C.V. y G.D.-S.; supervisión, J.C.V. y G.D.-S. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

## 10. REFERENCIAS

- [1] Seismosoft, “*SeismoStruct User Manual*” Disponible en: [https://seismosoft.com/wpcontent/uploads/prods/lib/SeismoStruct-2022-User-Manual\\_ENG.pdf](https://seismosoft.com/wpcontent/uploads/prods/lib/SeismoStruct-2022-User-Manual_ENG.pdf), 2025
- [2] FEMA P-2091, “*Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency, prepared*”, FEMA P-2091, A Practical Guide to Soil-Structure Interaction, Disponible en: <https://www.atccouncil.org/>, 2020
- [3] F. D., Díaz, G. F., Espinoza, B. R., Sánchez Vergara, y C. I., Huerta López, “*Respuesta dinámica de un edificio considerando el efecto de interacción suelo-estructura*”, Monografía CIMNE IS-67, 2012
- [4] V., Anand & S. R., Satish Kumar, “*Seismic Soil-structure Interaction: A State-of-the-Art Review*” *Structures*, Vol. 16, pp. 317–326. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2018.10.09>, 2018
- [5] A. Soriano, “*Interacción suelo-estructura. Modificación del movimiento*”, *Física de la Tierra*, N 1, 1989
- [6] NIST, “*Soil-Structure Interaction for Building Structures*”, NEHRP Consultants Joint Venture A partnership of the Applied Technology Council and the Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering,

- 2012
- [7] M., Sadek, M.M., Hussein, F., Hage Chehade, & A. Arab, "Influence of soil-structure interaction on the fundamental frequency of shear wall structures", *Arabian Journal of Geosciences*, 13. 2020
- [8] N., Allotey & M. H., El Naggar, "An investigation into the Winkler modeling of the cyclic response of rigid footings", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28(1), 44-57. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2007.04.003>, 2008
- [9] A., Pais, & E., Kausel, "Approximate formulas for dynamic stiffnesses of rigid foundations", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, V 7, 4, 213-227, 1988
- [10] INE, "Diseño sísmico de edificios", Norma Chilena Oficial, NCh 433.Of1996 Modificada, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 2012
- [11] INE "Diseño estructural- Cargas permanentes y cargas de uso", Norma Chilena Oficial, NCh1537.Of2009, Instituto Nacional de Normalización, Santiago, Chile, 2009
- [12] INE "Diseño estructural Disposiciones generales y combinaciones de carga" Norma Chilena Oficial, NCh3171.Of2010, Instituto Nacional de normalización, Santiago, Chile, 2010

Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-NC-SA 4.0)

Authors retain copyright of the published papers and grant to the publisher the right to publish the article, to be cited as its original publisher in case of reuse, and to distribute it in all forms and media.

## 11. LICENCIA Y DERECHO DE AUTOR

Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

Los autores conservan los derechos de autor de los artículos publicados y otorgan al editor el derecho a publicarlos, a ser citados como su editor original en caso de reutilización y a distribuirlos en todos los formatos y medios.

## 12. LICENSE & COPYRIGHT

This work is licensed under the Creative