

RESEARCH ARTICLE

# Modelos matemáticos para la Evaluación del Efecto Cadena de Amarre en Edificaciones de Mediana Altura.

Anchundia Adrián Luis Augusto <sup>1</sup>  Chacón Sánchez Juan Pablo <sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Manabí, Departamento de Posgrado, Manabí, Ecuador.

✉ Correspondencia: [luis27an@hotmail.com](mailto:luis27an@hotmail.com)  + 593 99 624 3578

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj73185>

**Resumen:** La simulación numérica es una herramienta muy útil al momento de realizar cálculos complejos, y en los cálculos estructurales es de las herramientas más utilizadas, pero en ciertas ocasiones tenemos incertidumbre acerca del comportamiento que pueden tener elementos específicos, como sucede en el efecto que tienen las cadenas de amarre y su influencia en la interacción suelo-estructura. Para entender estos efectos se propone simulaciones simples donde podamos incluir estos elementos, con la finalidad analizar la su incidencia en el comportamiento de la estructura mediante el uso de un software comercial. De estas simulaciones se obtiene que un modelo de cimentación utilizando resortes genera resultados muy similares a un modelo idealizado de suelo en elementos finitos, mientras que proveer cadenas de amarre a nivel de contrapiso hace que la estructura tenga un mejor comportamiento ante eventos sísmicos.

**Palabras claves:** Interacción suelo-estructura, cadenas de amarre, software comercial, modelos matemáticos, simulación numérica, elementos shell.

## Mathematical models for the evaluation of the footing tie beam effect in medium height buildings

**Abstract:** Numerical simulation is a very useful tool when performing complex calculations, and in structural calculations it is one of the most used tools, but sometimes we have uncertainty about the behavior of specific elements, as it happens in the effect of the footing tie beam and their influence on the soil-structure interaction. To understand these effects, we propose simple simulations where we can include these elements, with the purpose of analyzing their incidence on the behavior of the structure using commercial software. From these simulations it is obtained that a foundation model using springs generates very similar results to an idealized finite element soil model, while providing tie chains at the subfloor level makes the structure perform better in seismic events.

**Keywords:** Interaction soil-structure, footing tie beam, mathematical models, numerical simulation, shell elements.



**Cita:** Anchundia Adrián, L. A., & Chacón Sánchez, J. P. (2024). Modelos matemáticos para la Evaluación del Efecto Cadena de Amarre en Edificaciones de Mediana Altura. Green World Journal, 07(03), 185.

<https://doi.org/10.53313/gwj73185>

**Received:** 30/October/2024

**Accepted:** 20/November/2024

**Published:** 23/November/2024

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.  
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial  
[editor@greenworldjournal.com](mailto:editor@greenworldjournal.com)

**Editor's note:** CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2023 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and conditions of the license.

Creative Commons Attribution (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

## 1. Introducción

Los ingenieros estructurales comúnmente diseñan superestructuras con condiciones de apoyo fijas en la base y transmiten las reacciones a la subestructura para diseñar el sistema de cimentación y estimar el desplazamiento del suelo [1].

En el Ecuador, la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción), indica que cualquiera que sea el tipo de cimentación a construirse, las columnas de pórtico y de confinamiento deben conectarse a nivel de cimentación entre sí, a través de cadenas de amarre, formando una retícula [2], no obstante, se ha observado que de manera tradicional se opta por métodos de arriostramiento de las estructuras a nivel de contrapiso. Este tipo de cadenas de amarre, busca generar la condición de empotramiento en los pies de columna [3], sin embargo, existe escasa información para poder corroborar que dicha condición se cumpla, lo cual genera incertidumbre de su comportamiento, esto debido a que la respuesta estructural de un edificio se ve afectado por la interacción de tres parámetros como: el suelo, la cimentación y la estructura [4].

En el diseño y análisis de una estructura se consideran una serie de supuestos con el fin de simplificar y disminuir el tiempo y costo del estudio [5] pero debido a estos supuestos que facilitan en ciertos parámetros, podemos llegar a generar incertidumbre en otros, como puede ser las simulaciones numéricas, donde en ciertas ocasiones existen variables que no se incluyen, y cuando se lo hace es necesario establecer su incidencia en el comportamiento.

Los modelos matemáticos nos permiten simular de manera virtual el comportamiento de elementos reales, este comportamiento está condicionado a los parámetros y variables que se dispongan al momento de realizar la modelación de los elementos. Una de estas variables es la interacción suelo-estructura, de lo cual sabemos que, el desplazamiento del suelo y el desplazamiento de la estructura se toman como independientes entre sí [6], pero debido a que generalmente la superestructura y la cimentación se diseñan por separado, estos efectos suelen ignorarse, aun sabiendo que el efecto de la interacción suelo-estructura es de mucha importancia, y que en el análisis y diseño estructural, ningún edificio podría aislarse del suelo de fundación [7].

Expuesto lo anterior llegamos al supuesto de que las cadenas de amarre generan una condición de empotramiento, pero nos genera una duda. ¿Cuál es el efecto de las cadenas de amarre en edificaciones de mediana altura? O si ¿Es necesario incluirlas en los modelos?

El presente trabajo busca analizar con diferentes modelos simplificados cual será el efecto de las cadenas de amarre y como está incide en su comportamiento, en donde incluiremos también la interacción suelo-estructura, para permitirnos acercarnos a un comportamiento idealizado, por medio de modelos matemáticos de pórticos en 2 dimensiones (2D) empleando software comercial.

En el caso de los modelos matemáticos que incluyan cimentaciones, debemos hacer que el sistema de cimentación sea capaz de transmitir las fuerzas que se desarrollan en la superestructura al suelo [8], para cumplir esto, debemos proveer elementos que simulen el comportamiento del suelo en la cimentaciones, esto generalmente se lo realiza con elementos tipo resorte los cuales van a tener propiedades acorde al suelo que se va a simular, pero algunas propiedades del suelo no pueden incluirse en lo elementos tipo resorte, por lo cual realizaremos la cimentación con suelo modelado en elementos finitos (CSMEF) donde aplicaremos más propiedades del suelo que las utilizadas en los resortes, y compararemos estos resultados, para conocer el comportamiento de la estructura bajo estos parámetros.

En lo que respecta a las cadenas de amarre, se suele suponer que su función es proveer condición de empotramiento [3], pero esta hipótesis aun genera incertidumbre debido a la limitada

investigación en torno a este comportamiento, para esto, realizaremos modelos de estructuras que incluyan cadenas de amarre, y compararemos su comportamiento con modelos similares los cuales no incluyan cadenas de amarre, de esta forma podremos averiguar que efecto genera la presencia de las cadenas de amarre en los modelos matemáticos.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Área de estudio

Para la caracterización del suelo, y la tipificación de la clase de estructura a analizar, se obtuvo información de manera autónoma, mediante fichas de datos donde se registraron las características de estructuras existentes, correspondientes a la zona céntrica de la ciudad de Portoviejo, ubicada en la provincia de Manabí, en la zona costera del Ecuador.

Tabla 1. Tipificación de edificios en la ciudad de Portoviejo, zona céntrica

Edificación	Número de Pisos	Longitud entre Columnas (metros)	Columnas en X	Columnas en Y	Altura Planta Baja (metros)	Altura Entrepisos (metros)
Hotel Ejecutivo	5	5,1	3	5	4,00	3,20
MAIGJATE	6	4,9	4	5	4,50	3,00
El Regalo	5	4,2	3	4	4,00	3,00
Mutualista Manabí	11	4,5	4	5	3,20	3,20
Edificio Privado	5	4,6	4	5	3,50	3,20
Nayesska	5	4	4	5	3,00	3,00
Vital Óptica	5	4,4	5	4	3,20	3,00
Edificio Privado	4	3,6	5	4	3,50	3,20
La Previsora	9	5	10	4	4,00	3,20
El Ariete	9	4,4	4	3	3,20	3,20
Banco del Pacifico	5	5,4	4	5	3,50	3,20
Clínica Metropolitana	6	5,5	5	4	3,20	3,20

La Figura 1. Área de Levantamiento de Información, muestra la ubicación del área que fue utilizada para la recopilación de información.

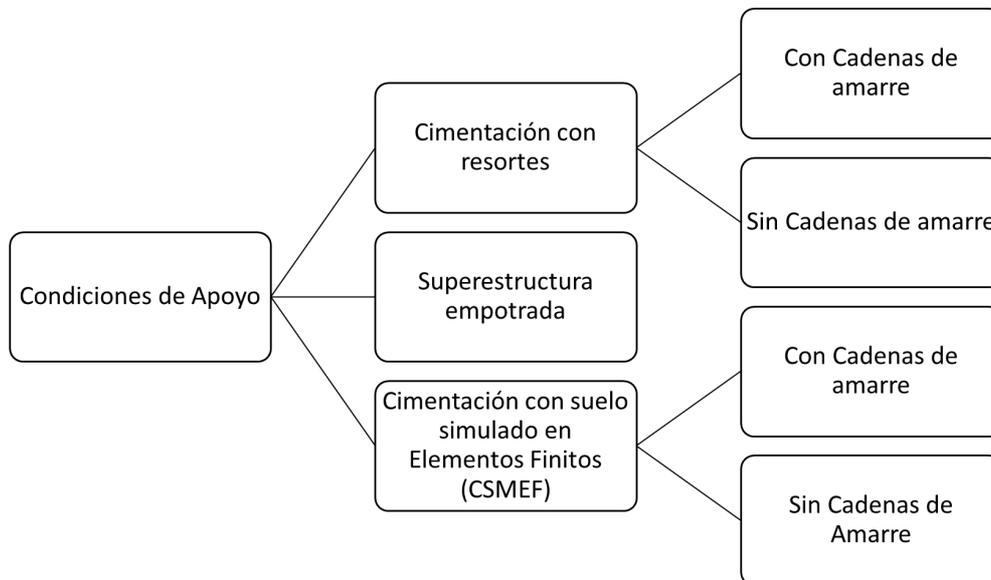


## 2.2 Métodos

Se realizaron modelos numéricos en un programa comercial de simulación, primeramente, se representa el elemento correspondiente al suelo, para su representación se procedió a aproximar los esfuerzos del modelo con los obtenidos analíticamente por medio del método de cálculo de esfuerzos de Boussinesq mediante el cálculo del factor de influencia. Esta equivalencia de esfuerzos entre el cálculo y los esfuerzos del modelo se realizó modificando las propiedades de un elemento área tipo Shell-Thin, utilizando un material de características isotrópicas cuyas propiedades corresponden a las de un suelo cohesivo.

A continuación, se procede a modelar un pórtico sobre este suelo, en donde se tomará el estado del suelo a nivel de cimentación (al ser este modelo el que da resultados más aproximados a los esfuerzos calculados por el método de esfuerzos de Boussinesq). También se establecerá un sistema de modelación mediante resortes (siendo este el modelo más utilizado para la simulación de interacción suelo-estructura) y por último un modelo con empotramiento en las bases, siendo este el método de modelación estructural más utilizado en nuestro medio.

Figura 2. Diagrama de los modelos realizados.



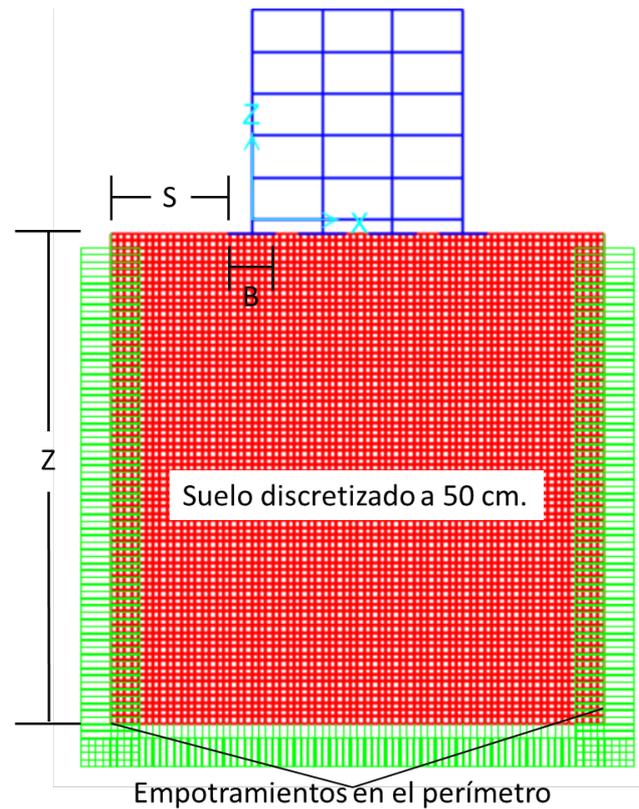
De estas simulaciones se obtiene la información estructural, la cual consiste en las cargas axiales y los momentos flectores y esfuerzos de corte mismas que nos permitirán realizar comparaciones entre los distintos modelos presentados.

### 2.2.1 Modelación de Superestructura

Se escogió realizar un marco plano en 2 dimensiones (2D) para simplificar el análisis, debido a que un análisis en 3 dimensiones (3D), tanto para la estructura como para el suelo, es mucho más complejo debido al tiempo de procesamiento y cantidad de elementos que deben incluirse en la simulación.

En lo que respecta a las características del edificio nos basamos en la información de la Figura 3 para poder estandarizar las medidas para los modelos a emplear, donde la longitud entre columnas será de 5 metros para 4 columnas en el sentido X que será el sentido analizado, en altura de entrepiso se utilizaron 3 metros, como medida típica, a continuación, únicamente se varía el número de pisos de 2 a 5 niveles.

Figura 3. Esquema del modelo matemático utilizado.



En la Figura 3 observamos el esquema utilizado, donde debemos caracterizar  $Z$  como la profundidad de nuestro elemento Shell correspondiente al suelo, y  $S$  la distancia que debe haber desde el extremo de la estructura hasta el extremo del elemento Shell, estos parámetros fueron obtenidos según lo indicado en la Figura 10, la cual toma en cuenta la sección  $B$  la cual corresponde al elemento de cimentación utilizado. Además de estos elementos se debe caracterizar la condición de apoyo. Para estas caracterizaciones se realizaron los análisis mostrados a continuación.

### 2.2.2 Estados de carga

Para el análisis lineal estático las cargas sobrepuestas aplicadas a la estructura fueron las siguientes:

Tabla 2. Cargas sobrepuestas a la estructura.

Niveles	Carga Muerta (kg/m <sup>2</sup> )	Carga Viva (kg/m <sup>2</sup> )
Entrepiso	274	200
Cubierta	116	70

Mientras que para el análisis sísmico queda definido con la información correspondiente a la zona de estudio la cual corresponde a la zona céntrica de la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí, donde los parámetros fueron los siguientes:

Tabla 3. Parámetros Sísmicos generales

Parámetros	Variable	Valor	Unidades
Factor de Importancia	I	1	s.u.

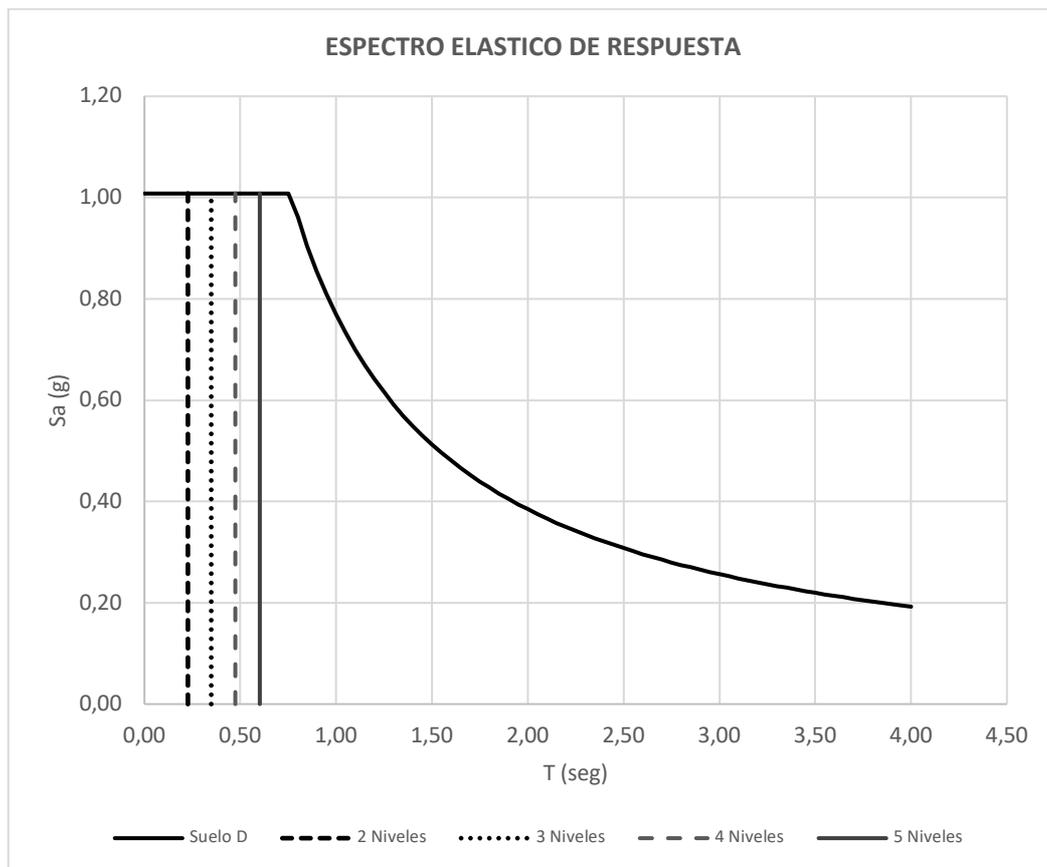
Factor de Reducción de Respuesta	R	8	s.u.
Factor de Irregularidad en Planta	$\emptyset_p$	1	s.u.
Factor de Irregularidad en Elevación	$\emptyset_e$	1	s.u.
Zonificación Sísmica		VI	
Tipo de Suelo		D	
Factor de aceleración de Zona Sísmica	Z	0,5	s.u.
Relación de amplificación espectral	n	1,8	s.u.
Coefficiente Ct	Ct	0,055	s.u.
Coefficiente de cálculo de periodo	$\alpha$	0,9	s.u.
Factor de Sitio Fa	Fa	1,12	s.u.
Factor de Sitio Fd	Fd	1,11	s.u.
Factor de comportamiento Inelástico de suelo	Fs	1,4	s.u.
Factor Asociado al periodo de Retorno	r	1	s.u.
Período Límite en T=To	TO	0,139	seg.
Período Límite en T=Tc	TC	0,763	seg.
Período Límite en T=TL	TL	2,664	seg.

Tabla 4. Parámetros sísmicos para los diferentes niveles

Parámetro	Variable	Unidades	2 niveles	3 niveles	4 niveles	5 niveles
Altura total del elemento	hn	m	6	9	12	15
Período Método 1	T1	seg.	0,2760	0,3970	0,5150	0,6290

Período 1.3 del Método 1	T2	seg.	0,3588	0,5161	0,6695	0,8177
Periodo natural de vibración	Ta	seg.	0,2267	0,3485	0,4743	0,6020
Coefficiente de período de vibración	k	s.u.	1,0000	1,0000	1,0000	1,0510
Aceleración en Ta	Sa (Ta)	g	1,01	1,01	1,01	1,01
Coefficiente de Corte Basal	Cv	%	0,126	0,126	0,126	0,126

Figura 4. Espectro de Respuesta con los periodos naturales para cada nivel.

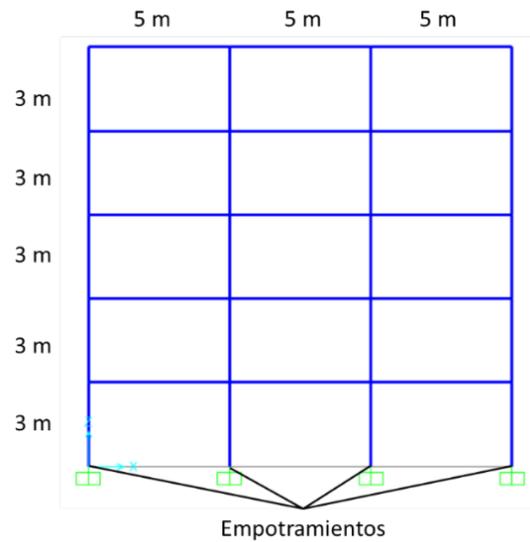


### 2.2.3 Condiciones de apoyo

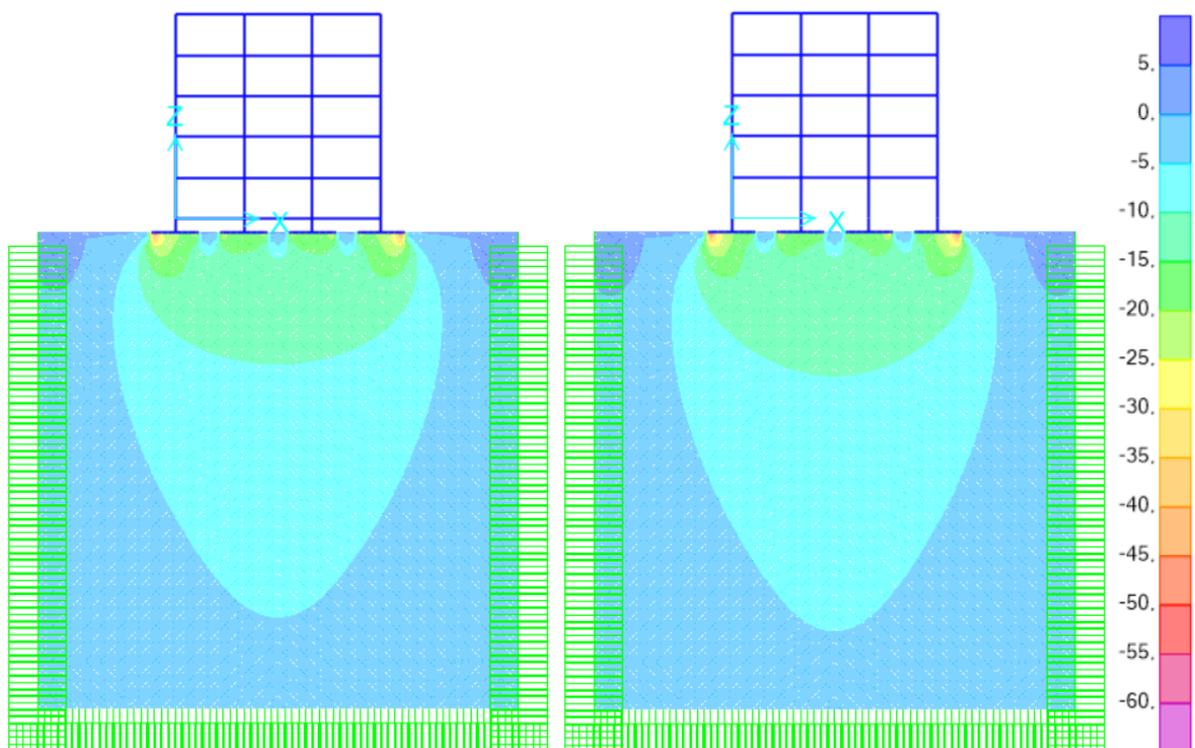
Para los modelos finales se compararon distintas configuraciones de apoyo, teniendo las siguientes:

- **Base Empotrada.** Siendo la configuración más utilizada para modelar en nuestro medio.

Figura 5. Modelo empotrado en la base.

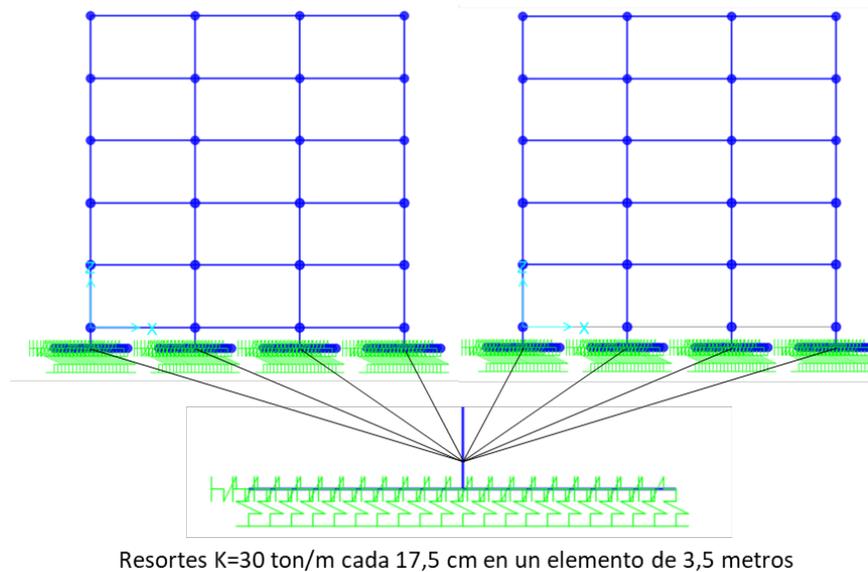


- **Cimentación con suelo modelado en elementos finitos (CSMEF).** Esta configuración se utilizó para simular la interacción suelo-estructura.

Figura 6. Modelo CSSEF con y sin cadenas de amarre, mostrando esfuerzos expresados en ton/m<sup>2</sup>

- **Cimentación con resortes.** Siendo esta la configuración usualmente utilizada para simular la interacción suelo-estructura.

Figura 7. Modelo con resortes en la cimentación, con y sin cadenas de amarre.



Las configuraciones de rigidez y discretización de los resortes se encuentran en la figura 7

Todos los modelos fueron analizados para diferentes configuraciones en elevación como fueron 2, 3, 4 y 5 niveles.

#### 2.2.4 Parámetros del Suelo

La representación del suelo se realizó con elemento Shell-Thin donde buscamos los resultados que mejor se equiparen a los calculados mediante el método de Boussinesq [9] para carga lineal el cual consiste en lo siguiente:

$$\sigma = \frac{p}{z} p_0 \quad (1)$$

Donde:

- $p$ : Carga Repartida
- $z$ : Profundidad donde se calcula el esfuerzo
- $p_0$ : Factor de influencia que relaciona la distancia a la carga y la profundidad

Mientras que el factor de influencia para carga lineal se calcula con la siguiente ecuación:

$$p_0 = \frac{1}{2 * \pi} * \frac{n}{(m^2 + 1) * \sqrt{m^2 + n^2 + 1}} * \left( \frac{1}{m^2 + n^2 + 1} + \frac{2}{m^2 + 1} \right) \quad (2)$$

$$m = \frac{x}{z} \quad (3)$$

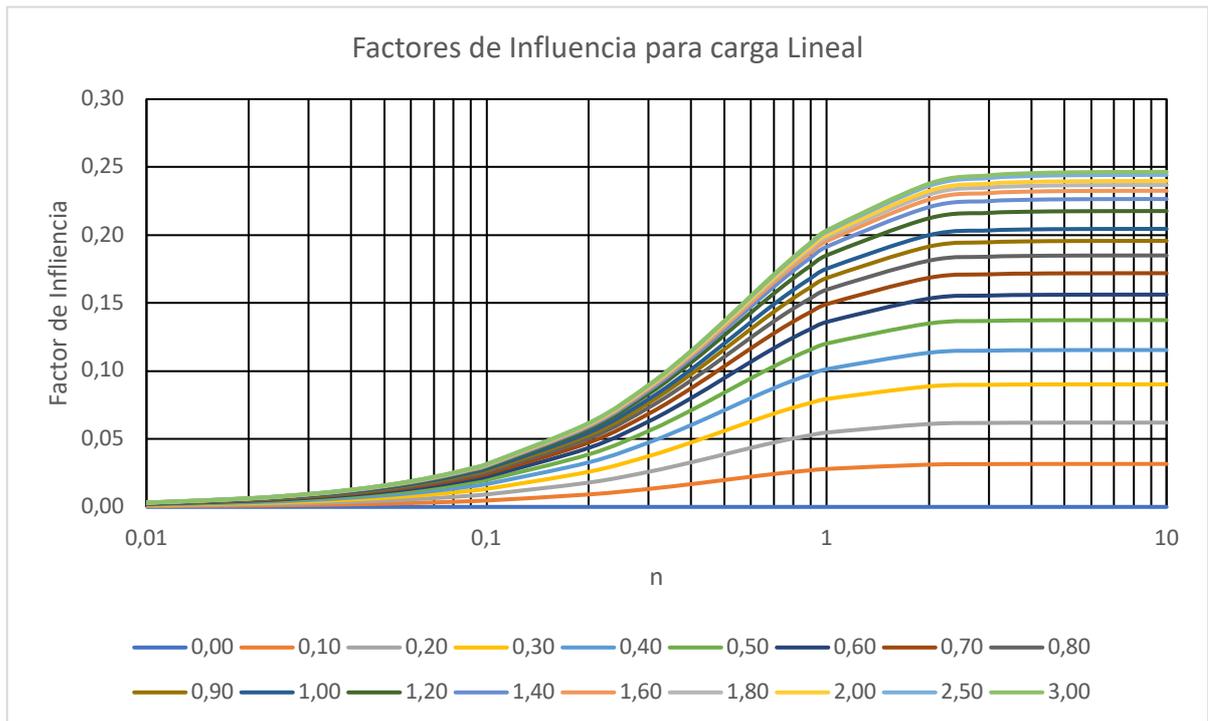
$$n = \frac{y}{z} \quad (4)$$

Donde:

- $m$ : Relación de la distancia paralela desde el punto donde se aplica la carga hasta el punto donde se la analiza.
- $n$ : Relación entre la distancia perpendicular desde el punto donde se aplica la carga al punto donde se la analiza.

Con la ecuación 2 podemos obtener un gráfico de factores de influencia que nos permite obtener el mismo para diferentes factores  $m$  y  $n$  como se puede observar en la Figura 8:

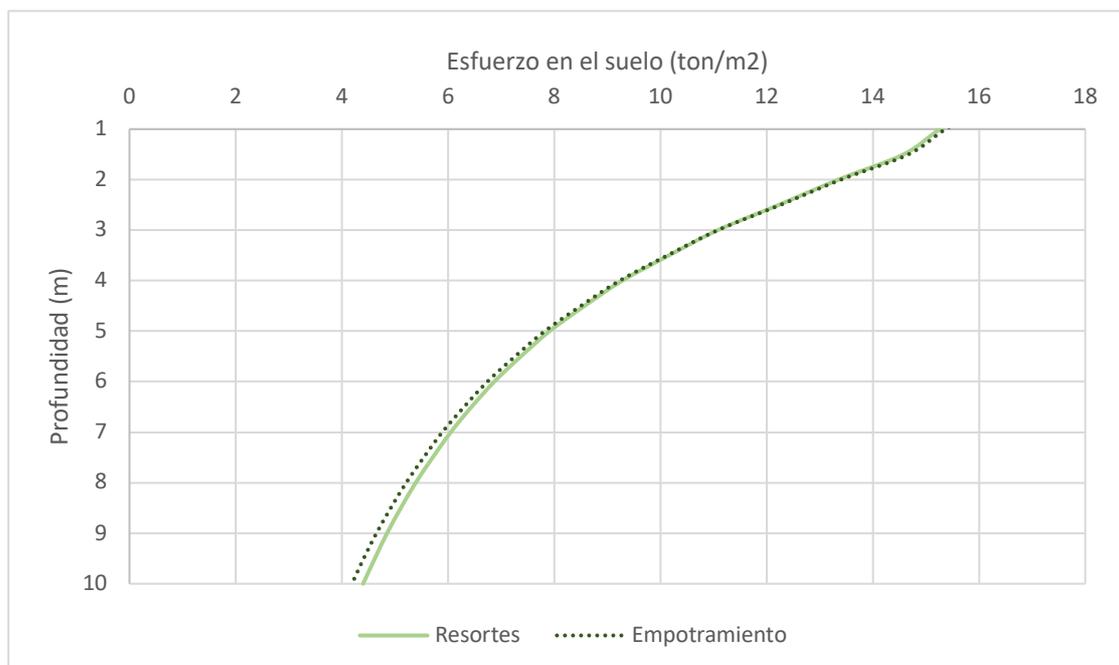
Figura 8. Factores de Influencia para Cargas Lineales



La Figura 8. nos permite calcular el esfuerzo en el suelo aplicando la ecuación 1.

En lo que corresponde a las condiciones de apoyo del CSMEF se comprobaron los esfuerzos correspondientes a las cargas equivalentes a los niveles estudiados, donde se utilizaron como condiciones de apoyo el estado de empotramiento y el de resorte, estos esfuerzos podemos observarlos en la Figura 9. También se analizó con condición de apoyo simple, siendo resultados idénticos al empotramiento, por ello estos datos no se incluyeron en el gráfico.

Figura 9. Comparación de esfuerzos en el suelo con diferentes condiciones de borde



Los resultados entre utilizar resortes o empotramiento como condición de apoyo para CSMEF son muy similares, siendo que para utilizar resortes como condición de apoyo se requiere calcular la rigidez de resortes, de manera sencilla resulta conveniente utilizar empotramientos.

Para determinar la profundidad y ancho a utilizar en la modelación del suelo nos basamos en la distribución de presiones de las líneas isobáricas para cimentaciones cuadradas [10]. Con lo indicado en Figura 10, se determinó que la profundidad  $Z$  valdrá 10 veces la longitud de nuestro elemento que funciona como cimentación, mientras que  $S$ , sería 4 veces esta misma longitud debido a que con estas dimensiones los esfuerzos son inferiores a 0.5%, valores más allá de estos son despreciables.

Figura 10. Líneas Isobáricas de esfuerzo vertical debajo de una cimentación cuadrada [10]

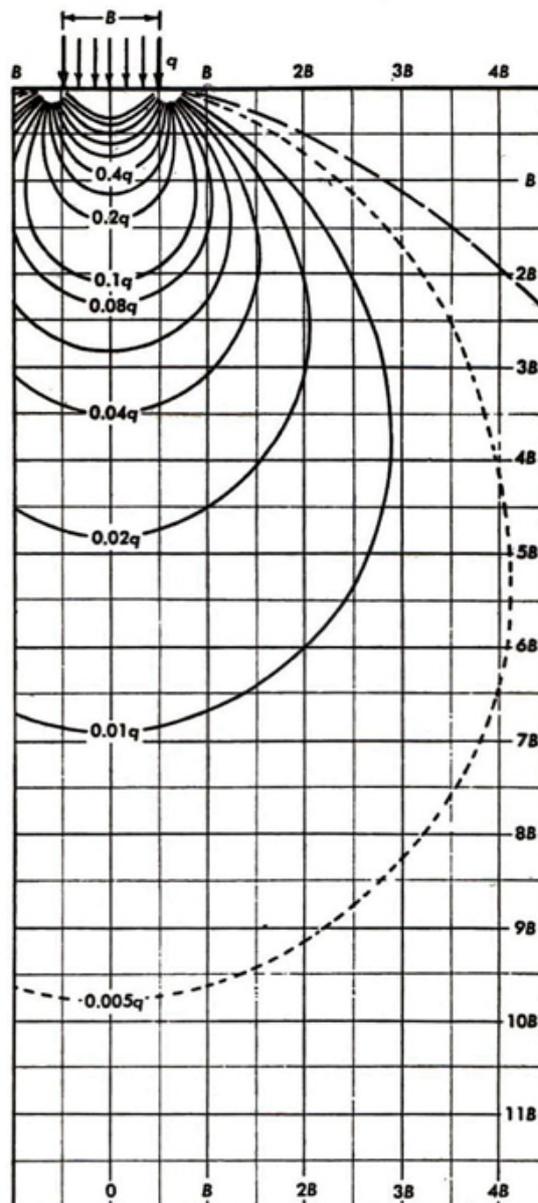


Tabla 5. Profundidad y ancho del suelo modelado en elementos finitos.

Niveles	B (metros)	Z (metros)	S (metros)
2	2,5	25	10
3	3	30	12
4	3	30	12
5	3,5	35	14

Figura 11. Valores de esfuerzos en el suelo con diferentes límites de profundidad.

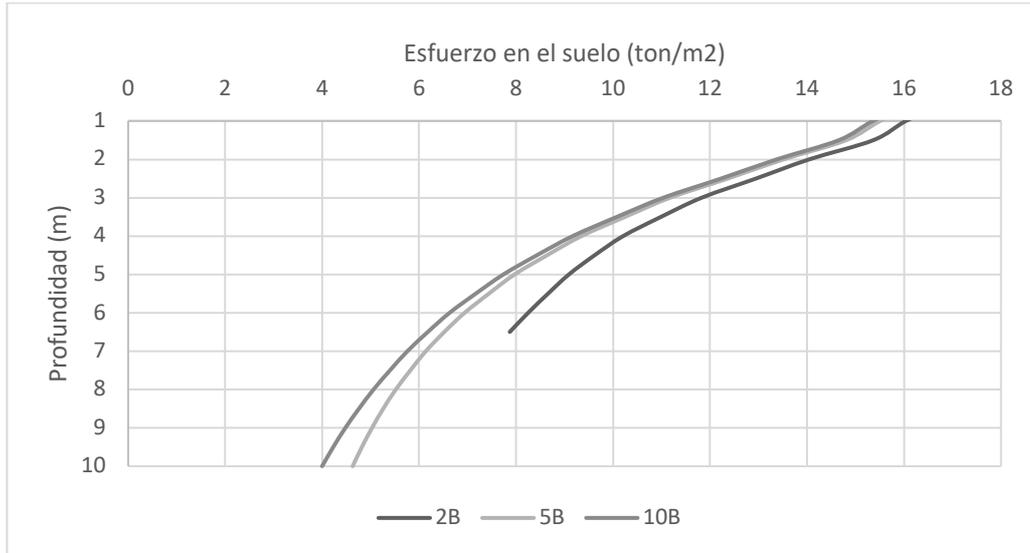
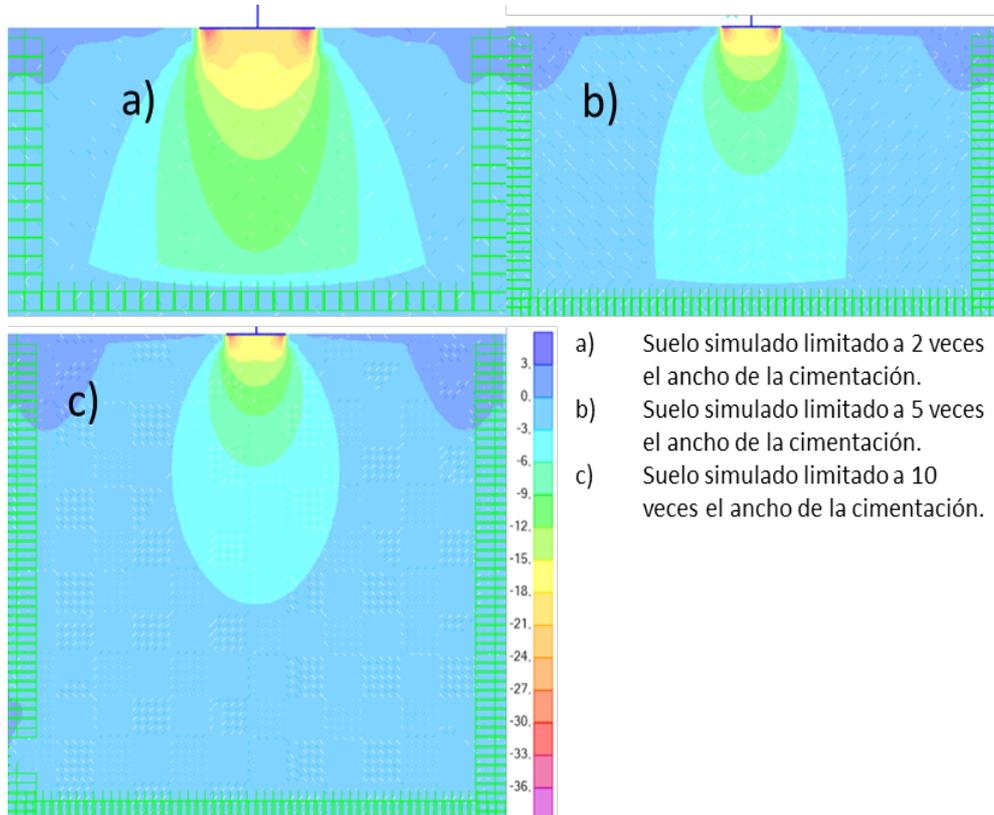


Figura 12. Grafica de esfuerzos en el suelo limitado a diferentes profundidades expresados en ton/m<sup>2</sup>.



### 2.2.5 Calibración de Resortes

debido a que la cimentación con resortes es el modelo más utilizado cuando se quiere simular la interacción suelo-estructura, entender sus características y comportamiento es fundamental para la investigación, para ello debemos generar resortes que se acoplen a las características que posee el suelo utilizado en el modelo, esto se lo realizo con los cálculos de coeficiente de módulo de subsuelo para sección cuadrada según Terzaghi [11], con la siguiente ecuación:

$$K = K_{30} * \left[ \frac{0.3}{B} \right] \quad (4)$$

Donde:

- **K**: Coeficiente del modulo del subsuelo para una sección cuadrada de lado B, expresado en metros.
- **K<sub>30</sub>**: Coeficiente del modulo de suelo para sección 30x30cm (coeficiente de Balasto).
- **B**: Longitud de la sección de cimentación cuadrada.

Este módulo está calculado para la sección total de la zapata, si deseamos resultados más afinados podemos discretizar nuestra cimentación donde este módulo será igual al módulo dividido para la cantidad de divisiones en las que se discretiza nuestra sección de cimentación cuadrada.

Tabla 6. Rigidez y Separación utilizada en los resortes.

Niveles	Rigidez (K) ton/m	Separación cm
2	30	12,5
3	30	14
4	30	15
5	30	17,5

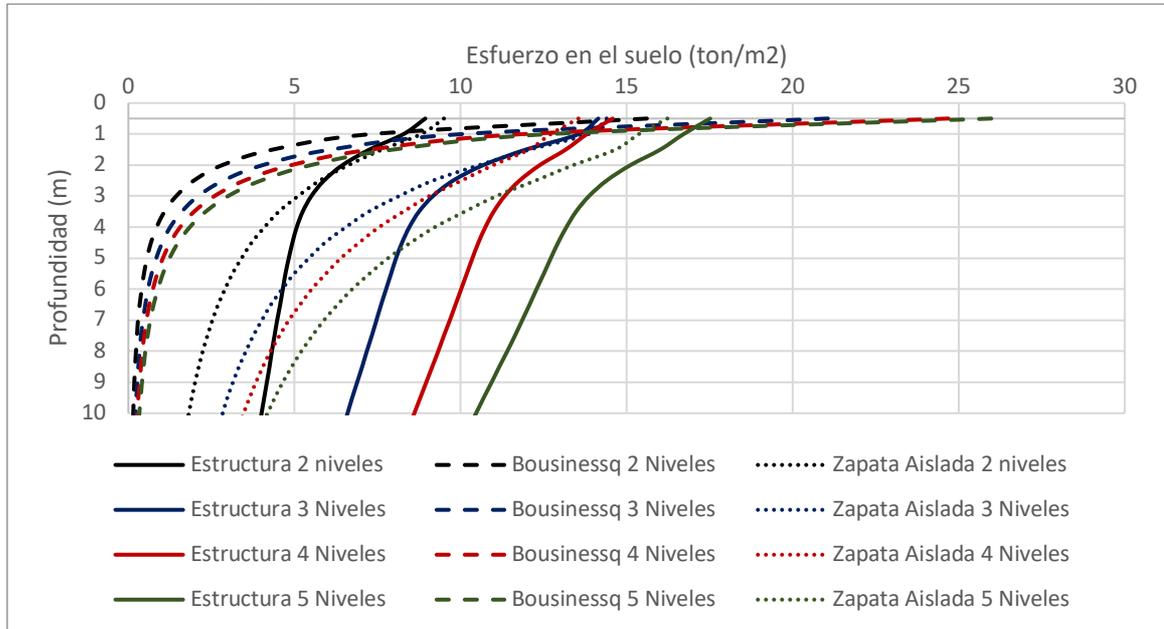
## 3. Resultados

### 3.1 Esfuerzos en el suelo

Se compara los cálculos teóricos con los resultados obtenidos mediante software comercial, donde finalmente analizaremos 3 casos:

- Esfuerzos en el suelo por el método de Boussinesq. Siendo este el cálculo teórico.
- Esfuerzos en el suelo bajo una zapata, en la cual estará incluida la superestructura completa
- Esfuerzos en el suelo bajo una zapata aislada, a la cual se le aplica la carga correspondiente al número de niveles analizado.

Figura 13. Comparación de esfuerzos en el suelo para modelos de distintos niveles.



### 3.2 Cargas axiales

La distribución de cargas axiales nos permite visualizar como se distribuye el edificio los esfuerzos, pudiendo así generar comparaciones.

Figura 14. Elementos analizados para cargas axiales y momentos.

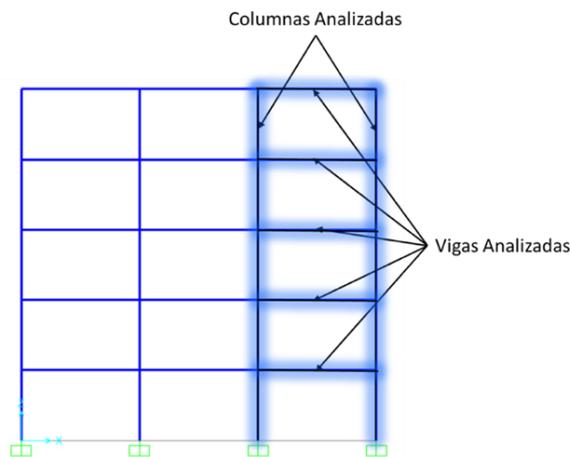


Figura 15. Diagrama de cargas axiales para la condición de empotramiento

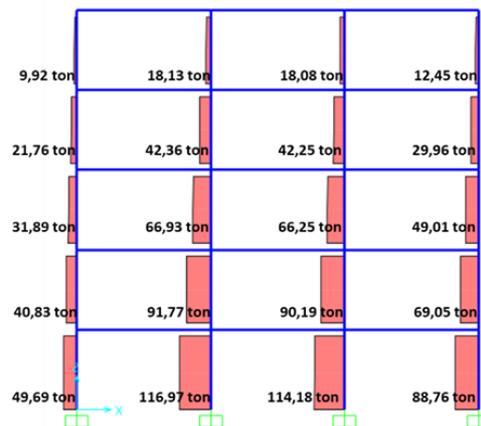


Figura 16. Diagrama de cargas axiales para la condición CSSEF

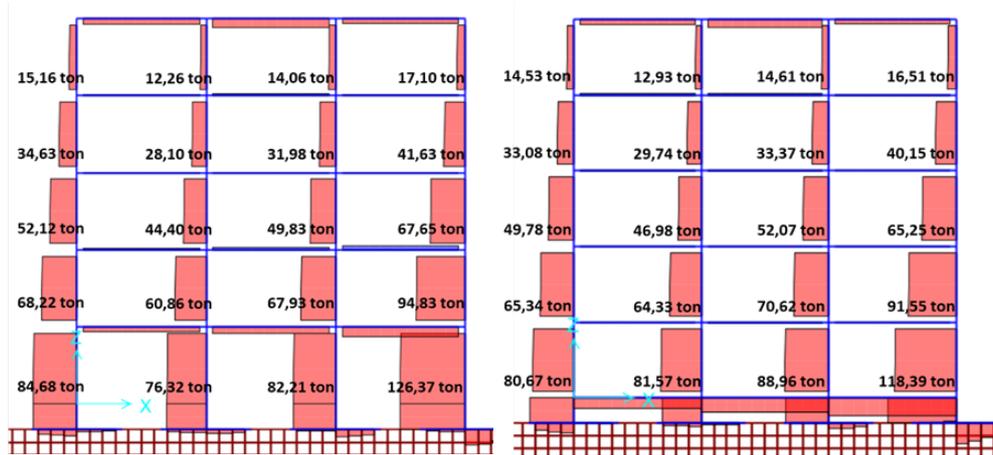


Figura 17. Diagrama de cargas axiales para la condición de Resortes

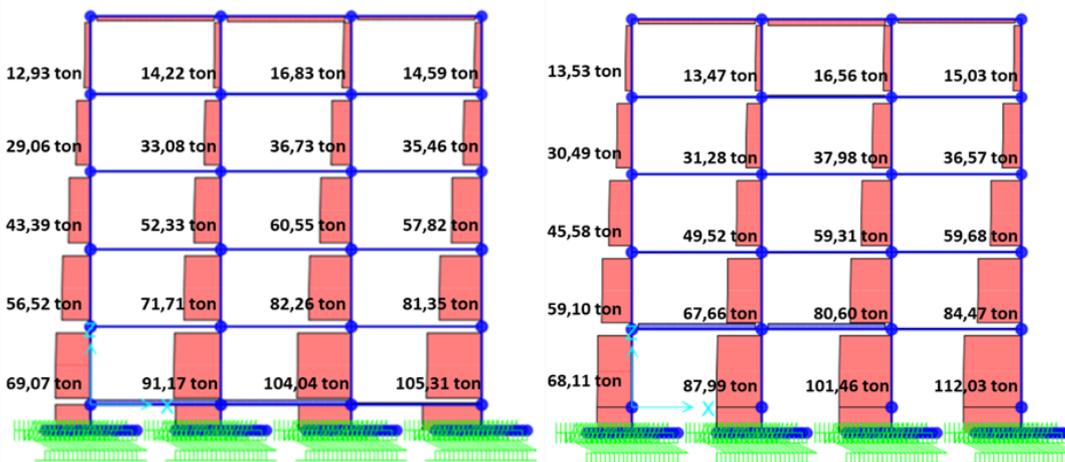


Figura 18. Cargas axiales en columnas para 2 niveles

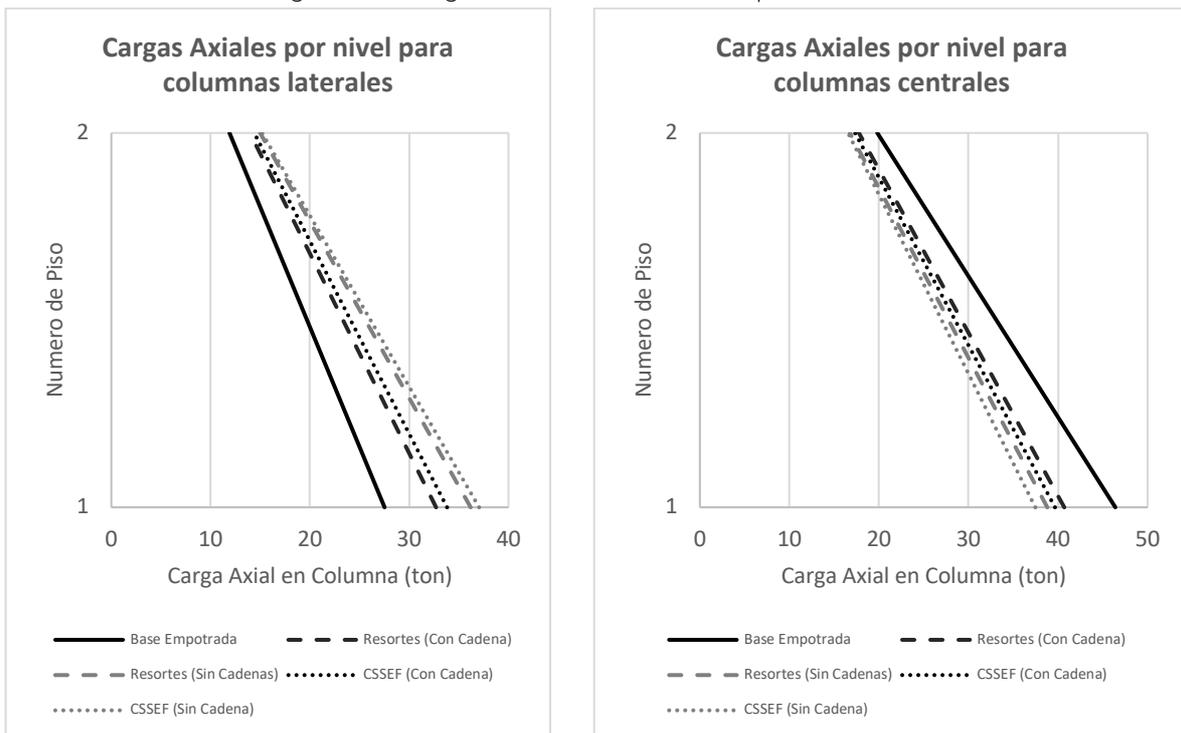


Figura 19. Cargas axiales en columnas para 3 niveles

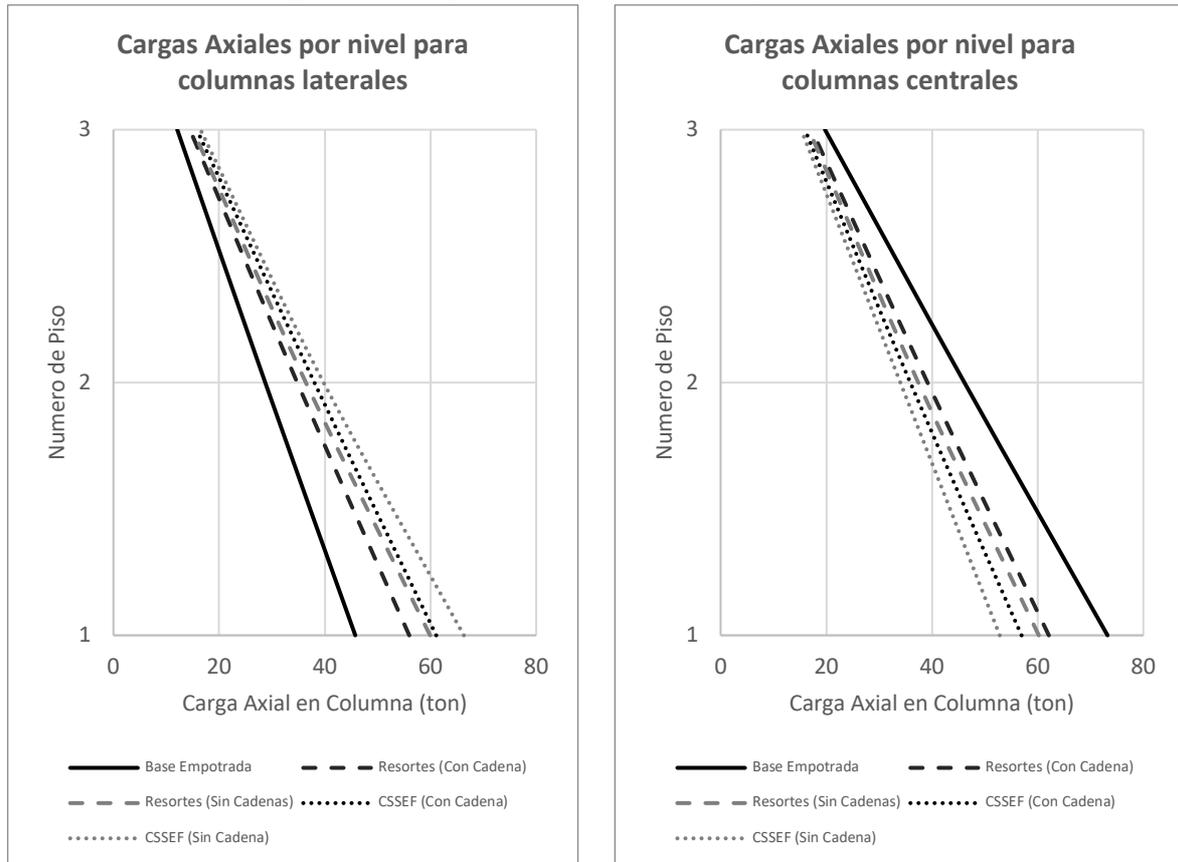


Figura 20. Cargas axiales en columnas para 4 niveles

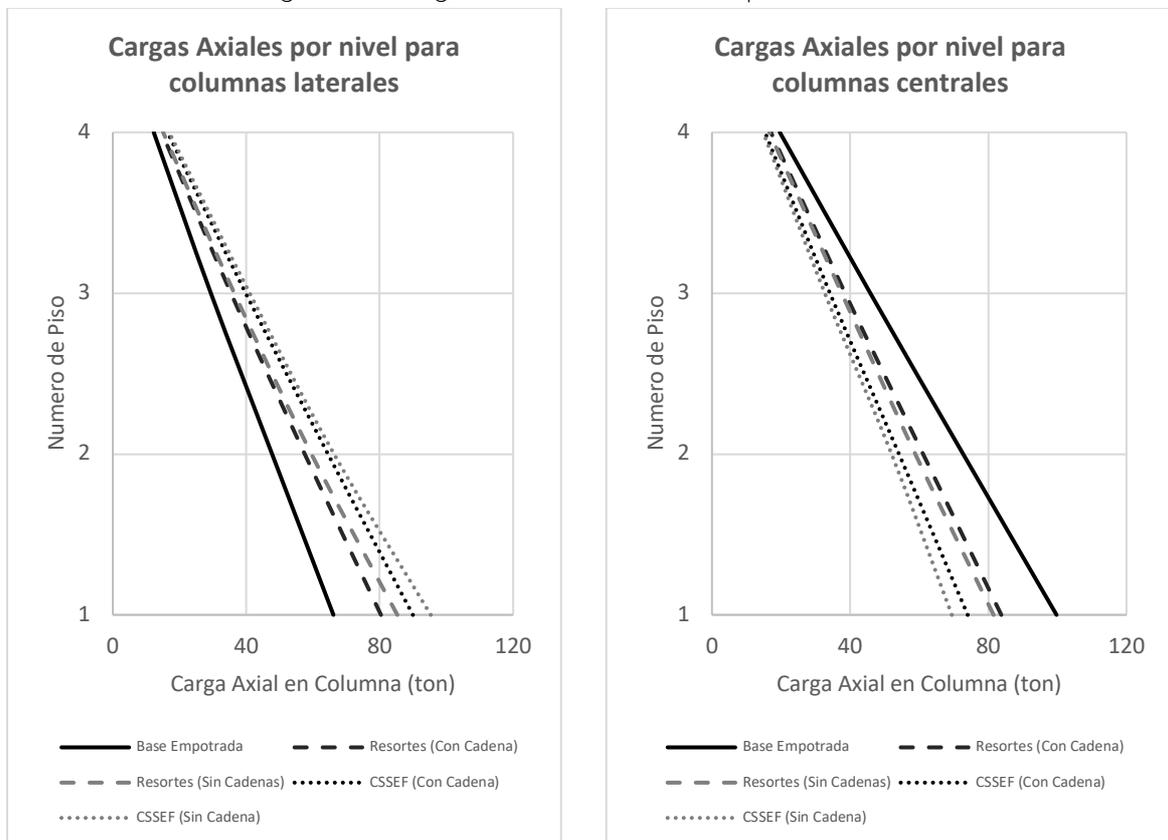
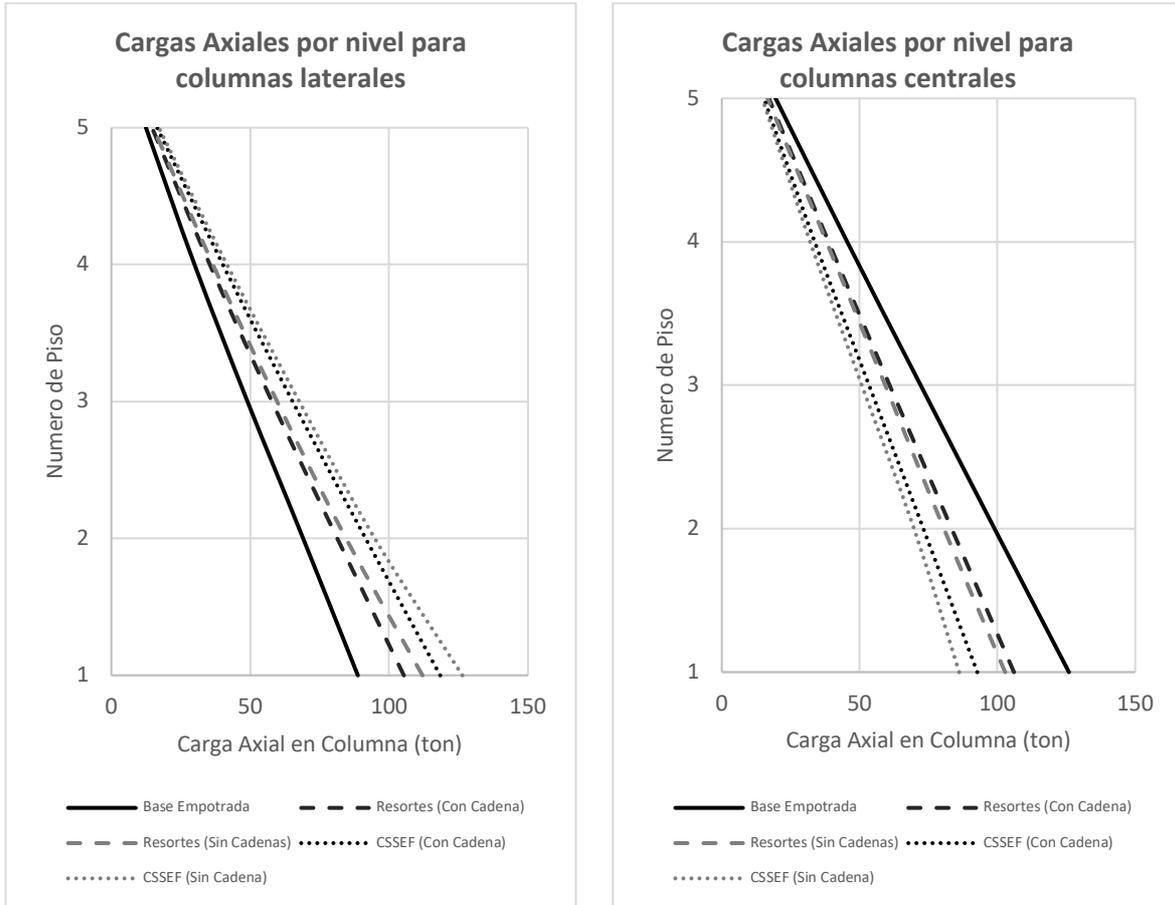


Figura 21. Cargas axiales en columnas para 5 niveles



### 3.3 Momentos

El cálculo de momentos es fundamental para el diseño de una estructura, pues nos permite saber las demandas lo cual nos ayuda a determinar las secciones necesarias para resistir estas sollicitaciones.

Figura 22. Diagrama de momentos para la condición de empotramiento.

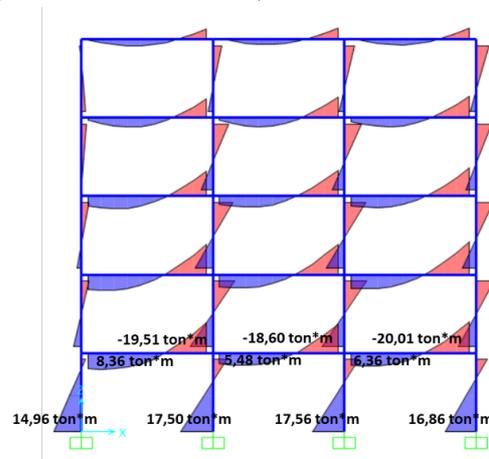


Figura 23. Diagrama de momentos para la condición CSSEF.

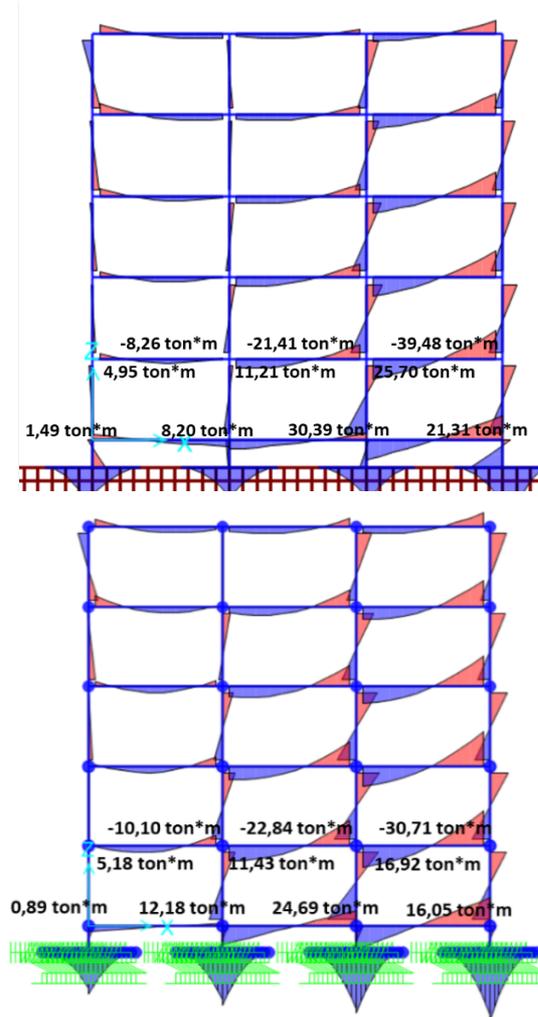


Figura 24. Diagramas de momentos para la condición de resortes.

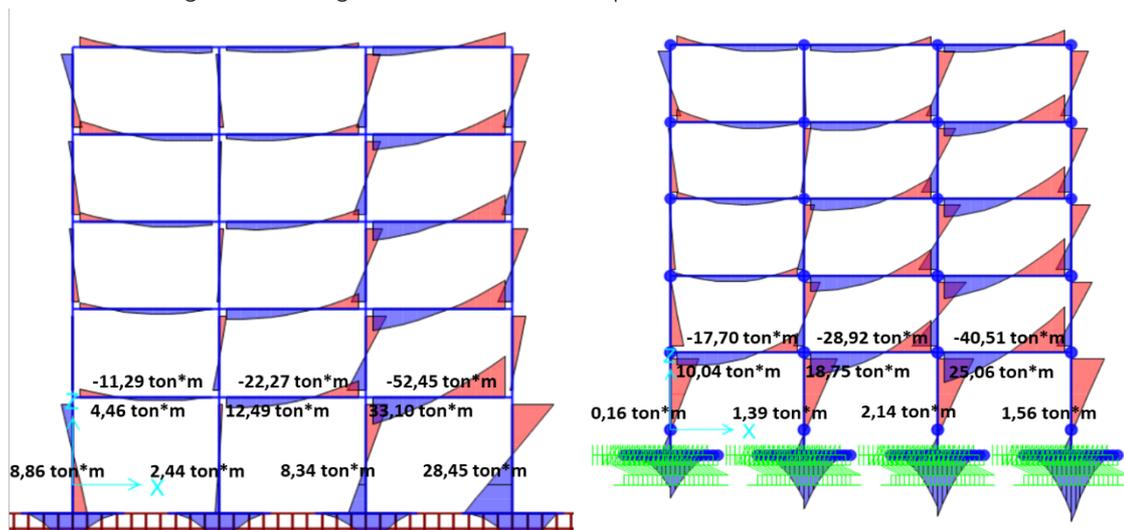


Figura 25. Momentos Máximos columnas y vigas para 2 niveles

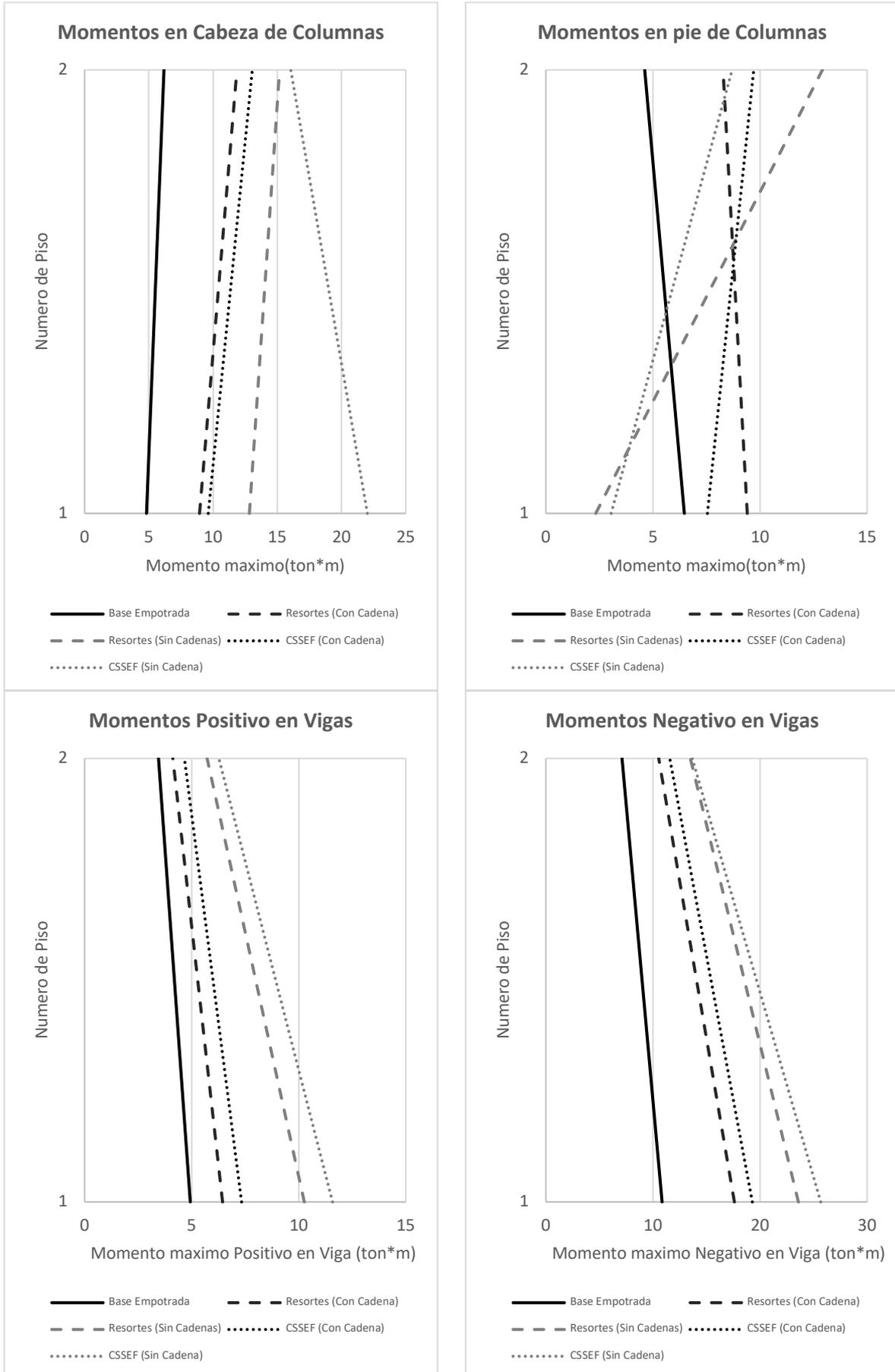


Figura 26. Momentos máximos en columnas y vigas para 3 niveles

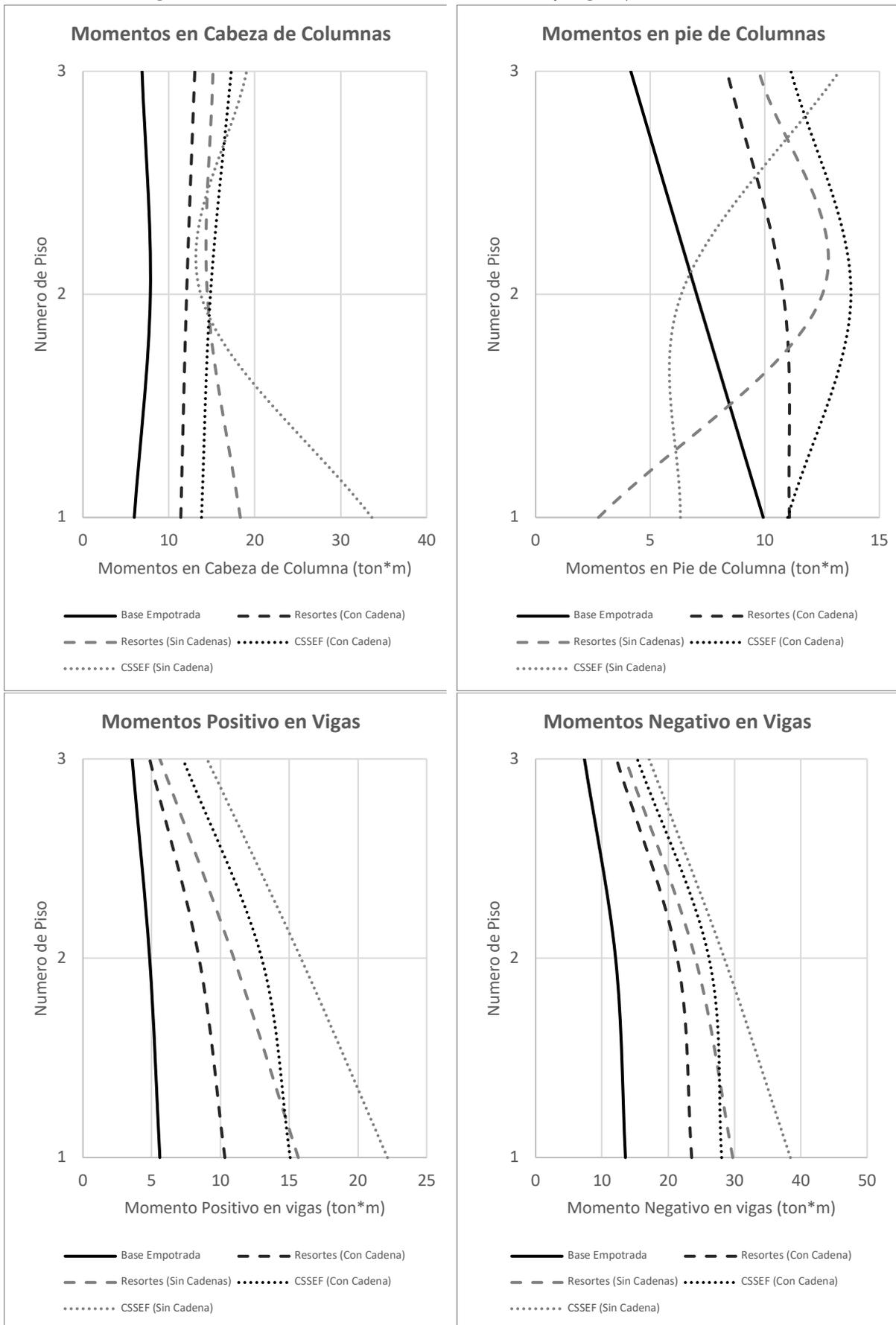


Figura 27. Momentos máximos en vigas y columnas para 4 niveles

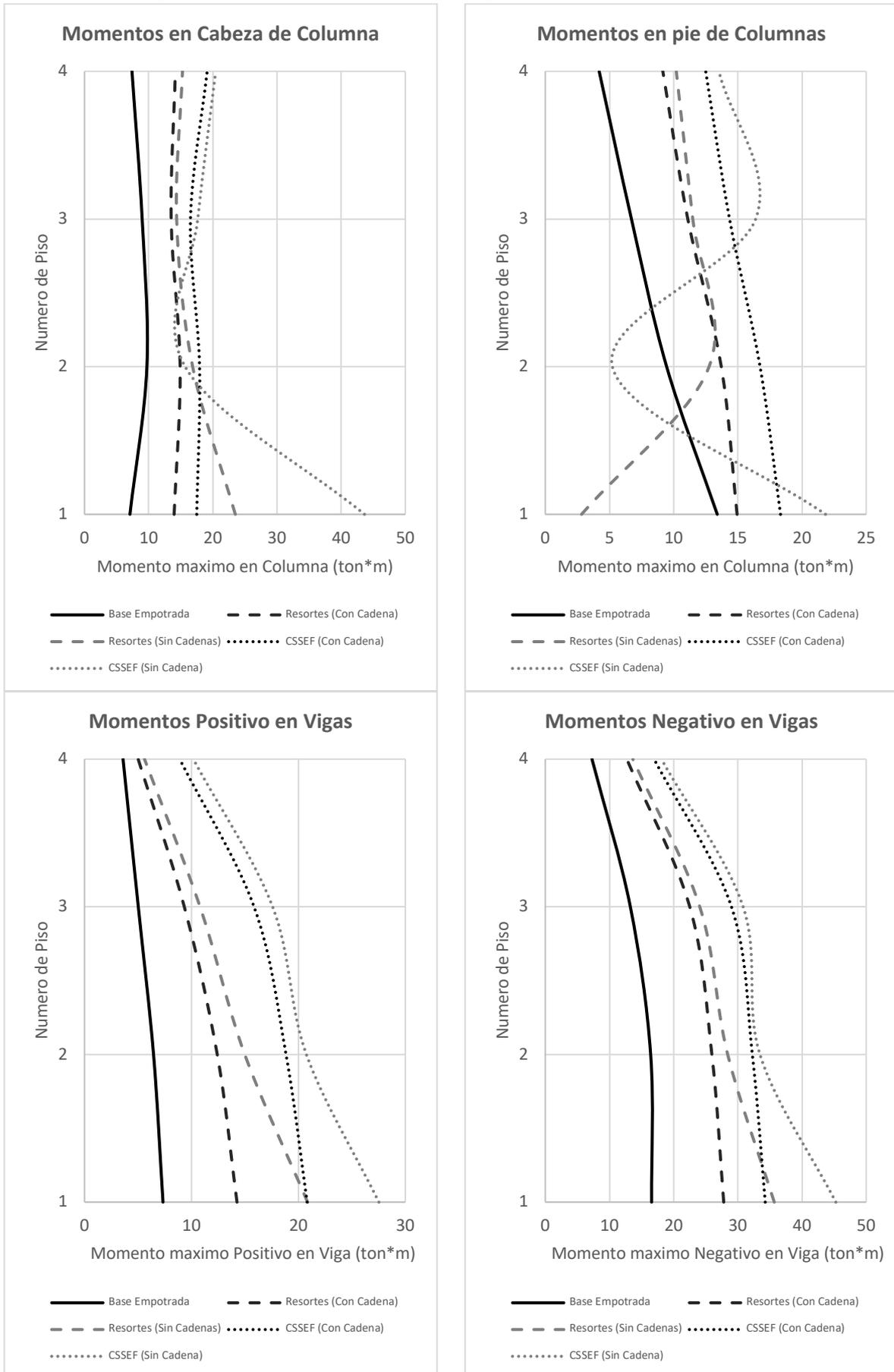
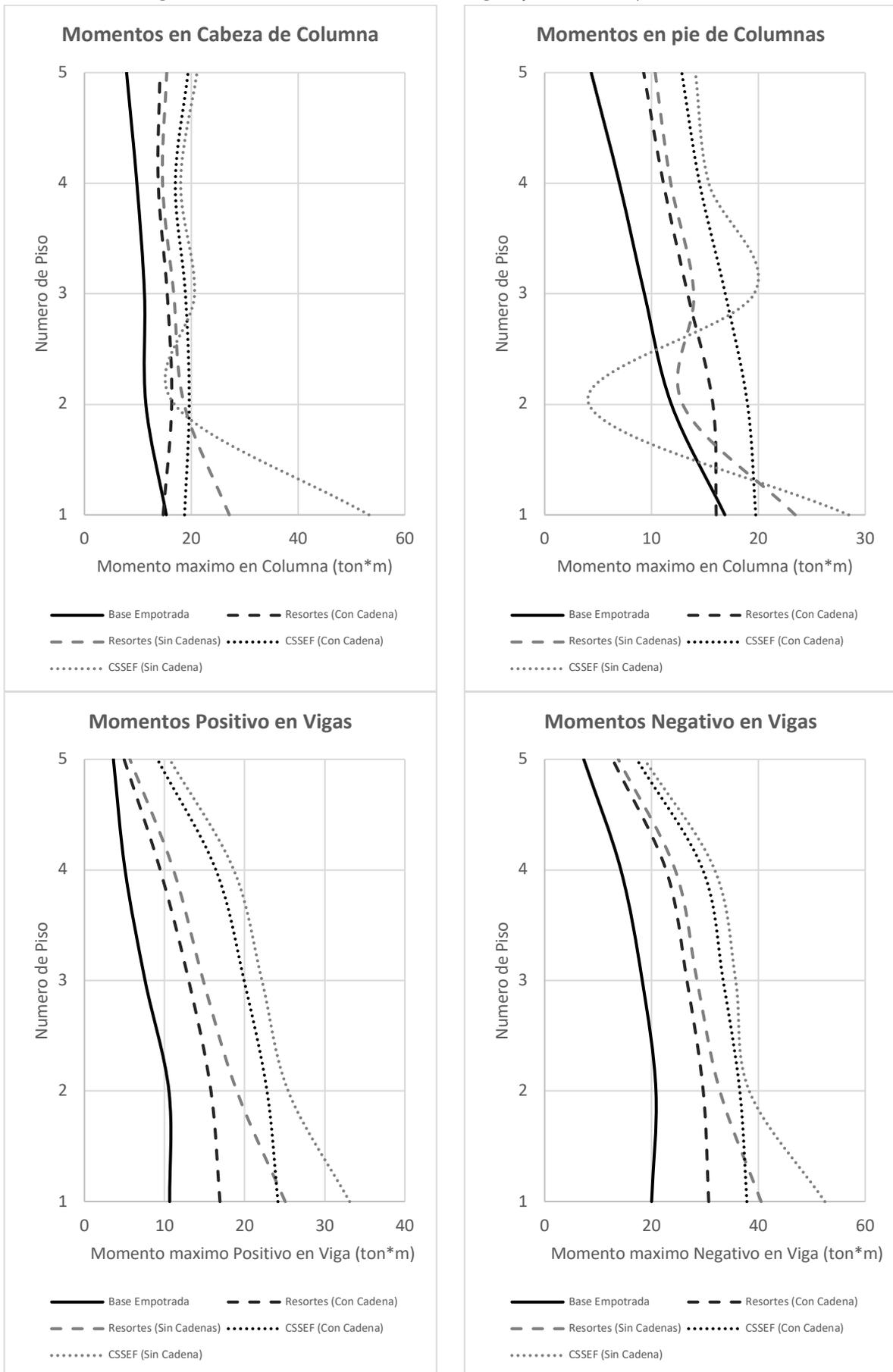


Figura 28. Momentos máximos en vigas y columnas para 5 niveles



#### 4. Discusión

Con la Figura 9 deducimos que utilizar empotramiento o resortes, o incluso apoyos simples, como condición de borde para el suelo modelado en elementos finitos, dan resultados muy similares en cuanto a los esfuerzos reflejados ante cargas lineales.

De la Figura 10 podemos entender que la profundidad óptima a la que debemos modelar un suelo para que sus efectos no interfieran a los resultados globales debe ser de al menos 10 veces el ancho del elemento utilizado como cimentación, esto se puede apreciar en las Figura 11 y Figura 12.

En la Figura 13 los esfuerzos en el suelo, a mayor sea la profundidad, se puede observar que hay interacción con los elementos aledaños, pues en una zapata aislada los esfuerzos decaen de manera progresiva mientras que con la estructura completa con todas las zapatas el decaimiento no es tan progresivo.

Con las Figura 17, Figura 18, Figura 19, Figura 20 y Figura 21 notamos que, ante eventualidades sísmicas, tanto los resortes como el elemento Shell, hace que la distribución de cargas sea mayor hacia las columnas exteriores, mientras que el empotramiento mantiene una distribución uniforme.

Consistentemente con lo anterior, en Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27 y Figura 28, las demandas se acumulan en las columnas y vigas exteriores, tanto en los modelos de resortes como elementos Shell, de igual manera el empotramiento mantiene un comportamiento más uniforme. En estas mismas figuras podemos observar el comportamiento que proveen las cadenas de amarre respecto a las demandas, donde notamos que, cuando estas se eliminan, se presentan mayores esfuerzos en los elementos aledaños a las mismas.

#### 5. Conclusión

El efecto que tiene las cadenas de amarre a nivel de contrapiso es el de reducir las demandas sísmicas, sobre todo en los primeros niveles, este efecto se masifica conforme aumenta la cantidad de niveles en la estructura.

El comportamiento entre utilizar resortes o utilizar CSSEF para simular el comportamiento del suelo es muy similar, mientras que utilizar empotramientos genera un comportamiento diferente, por lo que podemos confirmar que utilizar resortes es una buena aproximación para simular la interacción suelo estructura.

Los esfuerzos en el suelo bajo una zapata se ven afectados por las cargas que se producen por elementos aledaños, este efecto se masifica a mayor profundidad, por lo que afirmamos que el suelo bajo una cimentación sufre esfuerzos causados por cimentaciones aledañas.

Los efectos sísmicos generan que los esfuerzos de mayor demanda se concentren en los elementos exteriores, este efecto se muestra de mejor manera al utilizar resortes o CSSEF, mientras que al utilizar empotramientos los esfuerzos producidos por demandas sísmicas se concentran en los elementos internos.

La profundidad y el ancho del CSMEF, afecta directamente a los esfuerzos, la Figura 10 nos indica dimensiones aproximadas donde el esfuerzo va a desarrollarse plenamente, estas dimensiones son las mínimas que deberán proveerse en modelos CSMEF para que los esfuerzos no presenten datos que puedan interpretarse como erróneos como se aprecia en las Figura 11 y Figura 12.

**Contribución de autores:** Todos los autores han contribuido sustancialmente en la elaboración del trabajo.

**Financiamiento:** Los autores financiaron a integridad el estudio.

**Conflictos de interés:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias

- [1] N. A. López M., G. E. Pérez M., C. F. Castro P., J. C. Vielma P., L. J. López M., J. D. Alviar M., C. A. Romero R., D. P. Guerrero C. y V. V. Montesinos M., «A Structural Designs Comparison Between Two Reinforced Concrete Regular 6-Level Buildings using Soil-Structure Interaction in Linear Range,» *Ingeniería e Investigación*, vol. 42, 2022.
- [2] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, «NEC-SE-VIVIENDA,» Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, Quito, 2014.
- [3] C. F. León y D. W. Narvaez, «Estudio Experimental de la Cadena de Amarre,» Quito, 2009.
- [4] F. H. Araca Llanos, L. Gómez Catacora, A. Cahui Galarza y G. Marín Mamani, «Influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento de las viviendas aporticadas con zapatas aisladas en la ciudad de Juliaca,» *Revista Científica de la UCSA*, vol. 7, nº 2, pp. 70-81, 2020.
- [5] F. Benedetti, F. Zuñiga y A. Opazo, «Efecto de la variabilidad de la rigidez del sitio de fundación en el desempeño sísmico,» *Obras y Proyectos*, pp. 31-41, 2017.
- [6] V. Anand y S. S. Kumar, «Seismic soil-structure interaction: a state of the art review,» de *Structures*, 2018.
- [7] G. A. Villareal Castro, M. A. Cerna Vasquez y C. U. Espinoza Torres, «INTERACCION SISMICA SUELO-ESTRUCTURA EN EDIFICACIONES CON MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA SOBRE PLATEAS DE CIMENTACION,» *Revista Internacional del Ingeniería de Estructuras*, vol. 26, nº 1, pp. 153-178, 2021.
- [8] L. R. Fernández-Sola, L. F. Hernández-Rodríguez, C. E. Loeza-Pérez y O. M. González-Cuevas, «Acciones de diseño en cimentaciones en edificios de concreto reforzado con comportamiento inelástico,» *Ingeniería Sísmica*, pp. 32-50, 2020.
- [9] W. Rodríguez Serquén, «Determinación de esfuerzos en una masa de suelo, usando software de estructuras, y su comparación con el método clásico de la teoría de Boussinesq,» *Artículo Científico*, vol. 1, nº 1, 2020.
- [10] G. B. Sowers y G. F. Sowers, *Introductory Soil Mechanics and Foundations*, 4 ed., Michigan: Macmillan, 1972.
- [11] K. V. Terzaghi, «Evaluation of Coefficient of Subgrade Reaction,» 1995.



© 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>