

## ARTÍCULOS

Análisis del incremento de los esfuerzos verticales del suelo a distintas profundidades provocadas por cargas de una edificación

Analysis of the increase in vertical soil stresses at different depths caused by building loads

Vanessa Julessy Pilozo-Pilozo<sup>1</sup>, Bryan Fernando Palma-Villavicencio<sup>2</sup>, Marguith Yanira Espín-León<sup>3</sup>



 vpilozo9245@utm.edu.ec

<sup>1</sup> Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas FICA. Avenida José María Urbina y Che Guevara. 130104. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

 bpalma8255@utm.edu.ec

<sup>2</sup> Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas FICA. Avenida José María Urbina y Che Guevara. 130104. Portoviejo, Manabí, Ecuador.

 myespin@esspam.edu.ec

<sup>3</sup> Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí ESPAM. Calceta, Manabí, Ecuador.

FIGEMPA: Investigación y Desarrollo

Universidad Central del Ecuador, Ecuador

ISSN-e: 2602-8484

Periodicidad: Semestral

vol. 20, núm. 2, 2025

revista.figempa@uce.edu.ec

Recepción: 22 julio 2025

Aprobación: 19 septiembre 2025

DOI: <https://doi.org/10.29166/revfig.v20i2.8540>

Autor de correspondencia:

myespin@esspam.edu.ec

## RESUMEN

En el interior de una masa de suelo, los esfuerzos generados por el peso propio del terreno y por las cargas externas, pueden generar afectaciones en obras subterráneas como canales, túneles, tuberías, etc. En los últimos años, el Campus principal de la Universidad Técnica de Manabí ubicado en Portoviejo – Ecuador, ha experimentado un crecimiento significativo en su infraestructura con obras que provocan presiones en el suelo que pueden causar daños en las mismas. El presente estudio ha sido realizado con el objetivo de analizar, determinar y comparar los esfuerzos verticales que se generan en el suelo bajo la carga que causa el edificio de la Facultad de Ciencias Humanísticas y Sociales de la Universidad mediante dos métodos: la fórmula de Boussinesq para cimentaciones rectangulares y la Carta de Influencia de Newmark para cualquier tipo de cimentación. La cimentación del edificio es de zapata corrida en dos direcciones por lo que hubo que adaptarla a la forma de la fórmula de Boussinesq. Se utilizaron los planos arquitectónicos y estructurales del edificio para el cálculo de las cargas transmitidas hacia su cimentación. Los esfuerzos verticales se determinaron cada metro desde 1 m hasta 15 m de profundidad. Los esfuerzos máximos verticales por Boussinesq están a los 2 metros de profundidad mientras que por Newmark están a 1 metro. La comparación entre ambos métodos analizados arrojó un esfuerzo máximo porcentual 46.21%. Este análisis de los esfuerzos verticales transmitidos hacia el suelo permite prever los efectos que las cargas estructurales de la facultad y de cargas vecinas que podrían generar daños en futuras obras subterráneas dentro del campus universitario.

Palabras claves: ecuación de Boussinesq; diagrama de Newmark; esfuerzo del suelo.

## ABSTRACT

Within soil mass, stress generated by the self-weight of the terrain and external loads can affect underground structures such as channels, tunnels, and pipelines. In recent years, the main campus of the Technical University of Manabí, located in Portoviejo, Ecuador, has undergone significant infrastructure expansion, resulting in increased soil pressures that may compromise structural integrity. This study aims to analyze, quantify, and compare the vertical stresses induced in the soil beneath the Faculty of Humanistic and Social Sciences building using two methods: Boussinesq's equation for rectangular foundations and Newmark's Influence Chart applicable to any foundation geometry. The building's foundation consists of continuous footings in two directions, which required adaptation to the rectangular form assumed in Boussinesq's model. Architectural and structural plans were used to calculate the loads transmitted to the foundation. Vertical stresses were determined at 1-meter intervals from 1 m to 15 m depth. The maximum vertical stress, according to Boussinesq, occurred at 2 meters, whereas Newmark's method indicated a peak at 1 meter. The comparative analysis revealed a maximum stress difference of 46.21%. This evaluation of vertical stress transmission enables the prediction of potential impacts from structural and adjacent loads on future underground works within the university campus.

Keywords: Boussinesq equation; Newmark chart; soil stress.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

## Cómo citar:

Pilozo-Pilozo, V. J., Palma-Villavicencio, B. F., & Espín-León, M. Y. (2025). Análisis del incremento de los esfuerzos verticales del suelo a distintas profundidades provocadas por cargas de una edificación. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo, 20(2), e8540. <https://doi.org/10.29166/revfig.v20i2.8540>

## INTRODUCCIÓN

Cada vez es más común la expansión de las ciudades grandes, y Portoviejo, la capital de la provincia de Manabí en Ecuador, no es una excepción. Manabí, una de las provincias costeras de Ecuador, redundancia con 22 cantones o municipios distribuidos en sus 18.500 kilómetros de territorio. Esta provincia cuenta con 53 parroquias rurales y 35 urbanas. Su capital es Portoviejo, donde se encuentra su campus principal, la Universidad Técnica de Manabí (Véliz y Zambrano, 2019, p. 10). La Universidad Técnica de Manabí (UTM) se destaca como una de las Instituciones de Educación Superior (IES) más relevantes de la provincia de Manabí; alberga alrededor de 36.000 usuarios, repartidos entre alumnos, profesores, personal administrativo, entre otros. Hoy en día, el alma máter se compone de 10 facultades, 6 de ellas se ubican en el área de estudio que, junto a los 14 edificios administrativos y los 4 institutos, se reparten en un área de 208200 m<sup>2</sup> de tamaño aproximadamente. Así, su campus principal, visto como una ciudad pequeña, experimenta dificultades de tránsito de forma parecida al casco urbano de Portoviejo (Solórzano-Barreto *et al.*, 2022, p. 19).

En el Plan Estratégico de Desarrollo Institucional de 2022-2026, se presentan 24 proyectos de inversión de la Universidad Técnica de Manabí que corresponden a los programas de Formación y gestión académica (Universidad Técnica de Manabí, 2019, p. 58). Muchas de estas obras han sido concluidas, mientras que otras se encuentran en fase de ejecución. Esta dinámica evidencia un proceso continuo de expansión en la infraestructura del campus universitario, caracterizado por la construcción de edificaciones y obras civiles que generan diferentes presiones y esfuerzos en el suelo. De acuerdo al documento de Informe de Rendición de Cuentas de 2023 emitido por la Universidad Técnica de Manabí, se muestra que entre las obras finalizadas de gran envergadura en base a su presupuesto se encuentra la del Edificio de Ciencias Humanísticas y Sociales (Universidad Técnica de Manabí, 2024, p. 33) y es por este motivo que se lo tomó en cuenta para este estudio (Ver Figura 1).



FIGURA 1  
Edificio de Ciencias Humanísticas y Sociales de la Universidad  
Técnica de Manabí

La elección del edificio se fundamenta en sus dimensiones, las cuales permiten una distribución mas eficiente de las cargas estructurales, lo que mejora significativamente la precisión de los cálculos. En estructuras de gran escala, la correcta canalización de cargas muertas, vivas y ambientales hacia los elementos resistentes es esencial para evitar concentraciones de esfuerzos que puedan comprometer la estabilidad (Design Horizons, 2024). También se lo ha considerado ya que a su alrededor se encuentran varias obras que ejercen presión en el suelo que pueden afectar los trabajos subterráneos. La particularidad de edificio es la forma de su cimentación, que, debido a ser de zapata corrida, para nuestro estudio es necesario su adaptación a las formas experimentales de las cuales salieron las fórmulas propuestas por Boussinesq.

El proceso del cálculo del incremento de esfuerzos del suelo en este estudio está basado en la fórmula de Boussinesq para cimentaciones rectangulares (Das, 2015, p. 173) y en la Carta de Influencia de Newmark según las propuestas de Peck, Hanson y Thornburn (Peck *et al.*, 2004, p. 329). Los dos casos se enmarcan fuera de la consideración del tipo de suelo y se limitan a la suposición de que el suelo es isótropo, homogéneo y elástico.

El fin del presente trabajo es calcular los incrementos de los esfuerzos producidos por las cargas originadas en un punto A de la cimentación del edificio de Ciencias Humanísticas y Sociales de la Universidad a diferentes profundidades, desde 1 m hasta 15 m. cada metro por el método de Boussinesq de cargas rectangulares y por el método de la Carta de Newmark para finalmente efectuar un análisis comparativo de los resultados de estos dos procesos.

La comparación entre métodos gráficos y métodos basados en fórmulas matemáticas ha sido objeto de análisis en el ámbito educativo y científico, especialmente en procesos de modelación. Coa Mamani y Obregón Ramos (2023) destacan que los métodos gráficos facilitan la visualización de fenómenos complejos, promoviendo la comprensión conceptual y el aprendizaje activo, mientras que los métodos algebraicos ofrecen mayor precisión y rigor en la simulación de procesos. Esta dualidad metodológica permite abordar problemas desde perspectivas complementarias, favoreciendo tanto la intuición como la exactitud en el análisis técnico.

Para alcanzar el objetivo de este estudio, es importante adaptar la forma de la cimentación del edificio, de manera que sea aplicable la fórmula de Boussinesq para el cálculo del incremento de esfuerzos verticales bajo una carga rectangular uniformemente distribuida. El método mediante la aplicación por la carta de Newmark se enmarca en las fórmulas de Boussinesq, pero no es necesario adaptar mediante ningún proceso la cimentación a la Carta de Newmark para realizar los cálculos, simplemente se trata de sobreponer la cimentación del edificio, así como está en los planos estructurales haciendo coincidir el punto A de estudio al centro del gráfico de la Carta de Fluencia.

Con el presente estudio se espera contribuir al conocimiento científico y técnico en el campo de la geotecnia en cuanto a la expansión de obras y su influencia en las infraestructuras como son túneles, canales cubiertos, estructuras, tuberías para alcantarillado, galerías de servicio, depósitos subterráneos y demás obras de ingeniería que podrían verse afectados en el área del campus universitario.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La realidad física del terreno es compleja y por tanto no puede esperarse que un único modelo matemático sirva para explicar todo su comportamiento (Jiménez et al., 1981), por consiguiente el presente estudio se considera dos modelos analíticos con el fin de acercarse de manera más precisa al comportamiento real del terreno ante cargas superficiales. Estos modelos son: la teoría de Boussinesq para una base rectangular, la cual se fundamenta en un semi espacio elástico, homogéneo e isótropo; y la carta de influencia de Newmark, aplicable a cimentaciones de diversas formas y áreas, que permite estimar la distribución de esfuerzos verticales inducidos por cargas externas en el subsuelo.

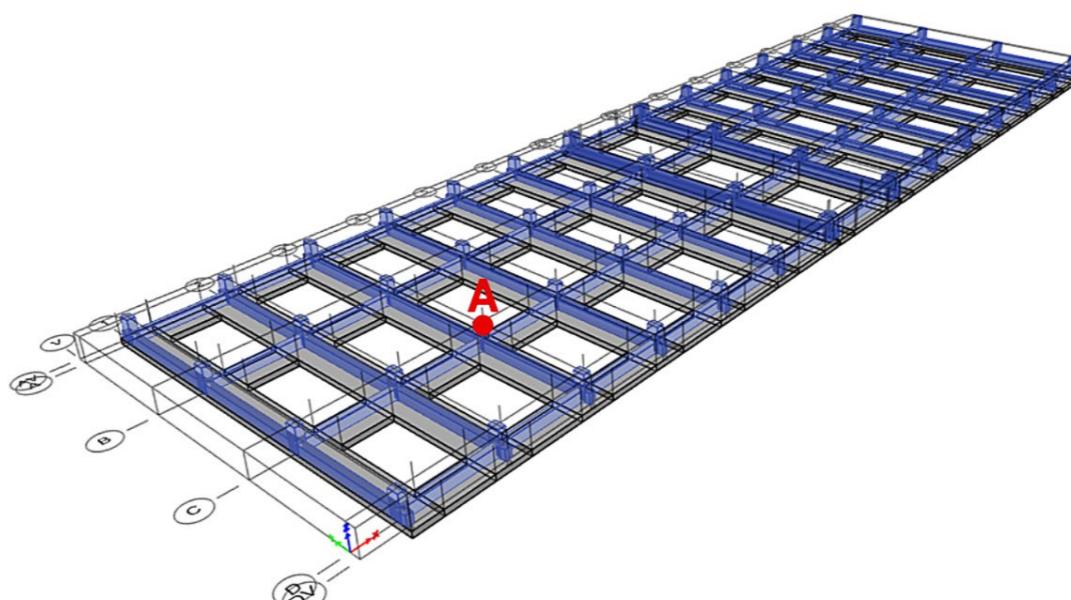
Las cargas aplicadas sobre el terreno producen deformaciones. De éstas, la más notable sobre las estructuras son los descensos verticales de la superficie llamados asientos. La práctica normal consiste en calcular tan sólo los asientos, despreciando las demás deformaciones posibles. Sin embargo, hay circunstancias en las que los corrimientos paralelos a la superficie del terreno son también peligrosos para las estructuras soportadas. Esto ocurre cuando las superficies del terreno se deben a excavaciones laterales o profundas (Jiménez et al., 1981).

Coduto et al. (2016) afirman, en un suelo actúan tanto esfuerzos normales ( $\sigma$ ) como esfuerzos de corte ( $\tau$ ), los cuales son inducidos por las cargas aplicadas en superficie. En el contexto de esta investigación, se calculó el esfuerzo vertical ( $\sigma_z$ ), debido a que las cimentaciones transmiten las cargas estructurales directamente al terreno, generando una redistribución de esfuerzos que se propaga en profundidad y lateralmente dentro del suelo.

Das (2015) menciona que aunque los depósitos naturales del suelo no son totalmente elásticos, isotrópicos o de materiales homogéneos, los cálculos para estimar el aumento del esfuerzo vertical dan buenos resultados para el trabajo práctico. Mediante estas consideraciones se puede matemáticamente modelar el suelo, al ser un material complejo de esta forma se simplifican sus características y propiedades. La teoría elástica, que se encuentra en muchas publicaciones, la curva de factor de influencia y el diagrama de Newmark se han utilizado en todo el mundo para especificar la distribución de la tensión a través de las capas de suelo debajo del área de contacto de las zapatas con diversas formas. Este método no tiene en cuenta el tipo y la consistencia de los suelos al especificar la distribución de la tensión y su impacto en el asentamiento (Suradi et al., 2021).

En condiciones normales, las zapatas cuadradas y rectangulares son económicas para soportar columnas y muros. Sin embargo, en ciertas circunstancias, puede ser deseable construir una zapata que soporte una línea de dos o más columnas. A estas zapatas se les refiere como zapatas corridas (Das, 2012).

Para el presente estudio, se necesitó del plano arquitectónico y del plano estructural del edificio que fueron facilitados por el Departamento de Obras Públicas de la Universidad Técnica de Manabí. Esto con el propósito de calcular las cargas que se transmiten hacia la cimentación de la superestructura. De acuerdo con los planos, la estructura del edificio está diseñada de hormigón armado, compuesto por tres bloques separados por una junta de 10 cm y está constituido por pórticos especiales resistentes a momentos, muros de corte, losas alivianadas y una cimentación de zapatas corridas en dos direcciones o bidireccionales (Ver Figura 2).



**FIGURA 2**  
**Vista en 3D de la cimentación del edificio de Ciencias Humanísticas y Sociales de la UTM**

Ramos Baez et al. (2024) dicen que, las losas bidireccionales de hormigón armado son elementos estructurales fundamentales en la construcción de edificios, debido a su capacidad para distribuir cargas en dos direcciones perpendiculares.

El edificio está estructurado de columnas de (30 cm\*40 cm), vigas de (25 cm\*35 cm) y (25 cm\*45 cm), losa con un espesor de 20 cm y presenta 3 niveles de piso, la altura de piso típica y constante es de 2,84 m (García et al., 2021).

El cálculo de las cargas no sísmicas se realizó según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (MIDUVI, 2014). Este proceso se basa en trasladar las cargas de las losas a las vigas y de las vigas a las columnas para finalmente distribuirlas en la cimentación.

Debido a la base rígida del edificio constituida por zapatas corridas se asumió que todas las cargas verticales (muertas y vivas) se distribuyen uniformemente sobre toda la superficie de la base.

Una vez obtenidos los valores de las cargas, se definen las áreas que ocupa la cimentación del edificio de zapata corrida para seguidamente adaptarlas al modelo rectangular de la fórmula de Boussinesq (Das, 2001). La Figura 2 muestra una gráfica de la cimentación elaborada con el software ETABS 20, en la que se puede ver en 3D la forma de la cimentación de los tres bloques que constituyen el edificio en estudio. Las partes internas entre las vigas son los espacios vacíos de la cimentación que están llenados con material de mejoramiento. El punto A, marcado en rojo, corresponde al lugar de referencia para el cálculo de los incrementos de esfuerzo en el suelo a profundidades que van desde 1 hasta 15 metros.

Fórmula de Boussinesq para el cálculo de incremento de esfuerzos del suelo bajo una cimentación rectangular

Boussinesq, para este cálculo, desarrolló la ecuación del incremento de esfuerzo vertical debajo de un área rectangular flexible cargada (Das, 2015, p. 173) (Ver Figura 3).

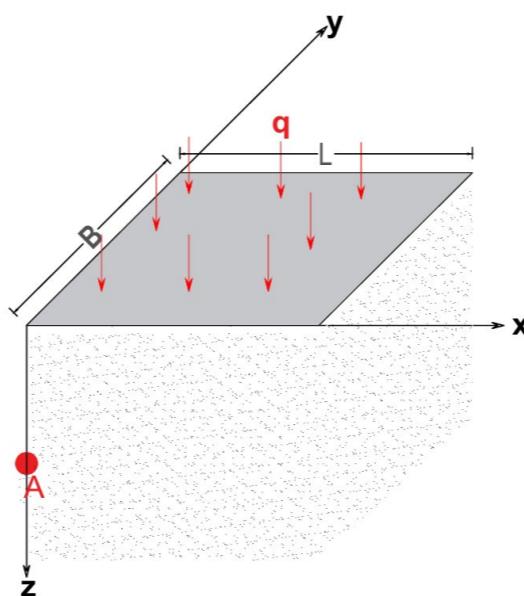


FIGURA 3  
Esfuerzo vertical bajo la esquina de un área rectangular  
uniformemente cargada

Adaptado de Das (2015)

Boussinesq definió la ecuación 1 que indica como determinar el esfuerzo vertical del punto A bajo la esquina del área rectangular en una profundidad z:

$$\Delta\sigma_z = qI \text{ Ec. (1)}$$

Donde,

$\Delta\sigma_z$  = Incremento del esfuerzo vertical

q = Carga uniformemente distribuida por unidad de área

I = Factor de variación de influencia

$$I = \frac{1}{4\pi} \left[ \frac{2m'n'\sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}{m'^2 + n'^2 + m'^2n'^2 + 1} \left( \frac{m'^2 + n'^2 + 2}{m'^2 + n'^2 + 1} \right) + \tan^{-1} \left( \frac{2m'n'\sqrt{m'^2 + n'^2 + 1}}{m'^2 + n'^2 - m'^2n'^2 + 1} \right) \right] \text{ Ec. (2)}$$

$$m' = \frac{B}{z} \text{ Ec. (3)}$$

$$n' = \frac{L}{z} \text{ Ec. (4)}$$

Donde,

B= Ancho del área de cimentación

L= Largo del área de cimentación

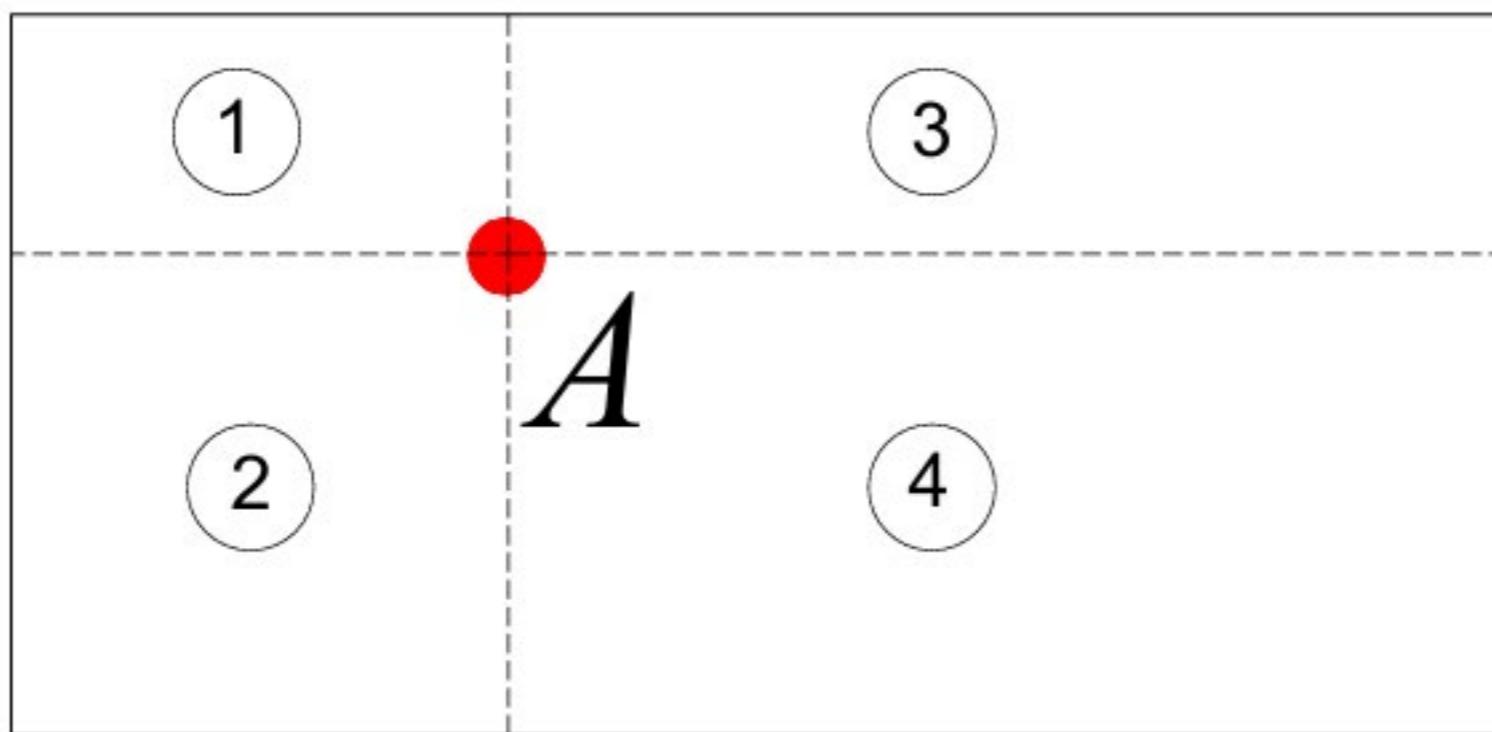
z= Profundidad de análisis

$m'$ = Relación entre ancho de cimentación y profundidad

$n'$ = Relación entre largo de cimentación y profundidad

Cuando el punto a calcular se encuentra dentro de la carga de cimentación, el área cargada se puede dividir en cuatro rectángulos como se muestra en la Figura 4. El punto A es la esquina común a los cuatro rectángulos (Das, 2015, p. 174).

Das y Sivakugan (2019) explican que, para determinar el esfuerzo a una profundidad (z) bajo el punto O, el área cargada se divide en cuatro rectángulos, con O como la esquina habitual para cada rectángulo (Ver Figura 4). Con la ecuación 1 se calcula el incremento del esfuerzo a una profundidad (z) bajo O que se produce por cada área rectangular y, el incremento total del esfuerzo ocasionado por toda el área cargada puede ser expresado según la ecuación 5 (p. 313).



**FIGURA 4**  
**Aumento del esfuerzo en cualquier punto debajo de un área rectangular flexible cargada**

Adaptación de Das y Sivakugan (2019)

Das y Sivakugan (2019) explican que, para determinar el esfuerzo a una profundidad ( $z$ ) bajo el punto  $O$ , el área cargada se divide en cuatro rectángulos, con  $O$  como la esquina habitual para cada rectángulo (Ver Figura 4). Con la ecuación 1 se calcula el incremento del esfuerzo a una profundidad ( $z$ ) bajo  $O$  que se produce por cada área rectangular  $y$ , el incremento total del esfuerzo ocasionado por toda el área cargada puede ser expresado según la ecuación 5 (p. 313).

$$\Delta\sigma_A = q (I_1 + I_2 + I_3 + I_4) \text{ Ec. (5)}$$

Donde,

$I_1, I_2, I_3$  y  $I_4$  = Factores de variación de influencia correspondientes a los rectángulos 1,2,3 y 4.  
 El punto  $O$  de Das & Sivakugam es el punto A en nuestro estudio.

Una de las grandes ventajas que presenta la hipótesis de que el terreno es elástico lineal es la validez del principio de superposición, cuyo enunciado dice que “si se tienen dos estados de tensiones y deformaciones correspondientes, al estado tensional suma le corresponde el estado de deformaciones suma” (Yepes, 2019).

El principio de superposición se utiliza en sistemas elásticos donde tensiones y deformaciones mantienen una relación lineal, lo cual implica que se cumple la ley de Hooke y que las cargas aplicadas no modifican la forma original del sistema (Ortiz, 2007). Coduto et al. (2011) explican que al asumir que el suelo se comporta como un material elástico lineal es posible aplicar este principio para calcular los esfuerzos normales ( $\sigma$ ) y de corte ( $\tau$ ).

Es importante recordar que siempre nos adherimos a la circunstancia de que el propio sistema privado de influencia externa es lineal. El comportamiento de tal sistema se describe por una ecuación diferencial lineal (Ver ecuaciones 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7) en virtud de lo cual queda aplicable el principio de superposición. Para los sistemas no lineales el principio de superposición no sirve y la teoría de estos sistemas es mucho más compleja. Un sistema lineal no genera oscilaciones, incluso si el esquema haya una fuente ideal de tensión constante en el tiempo (Zeldovich y Yaglom, 1987, p. 408).

Duque y Escobar (2023), resume varios casos de Figuras con cimentaciones rectangulares y nos da una orientación para los cálculos basados en algunos posibles casos (Ver Figura 5).

1. Caso 1. Como el resuelto por Das y Sivakugan que se explicado en las Figuras 4 y 5 apartado 1.
2. Caso 2. Cuando el punto A se encuentra fuera de la carga de cimentación, pero que forma una figura rectangular de manera que se pueda calcular la carga total y restar la carga del rectángulo que no se necesita (Figura 5 apartado 2)
3. Caso 3. Cuando la carga se encuentra en un punto fuera de la cimentación y no se puede calcular con los casos 1 o 2, entonces se sigue el proceso como se puede ver en la Figura 5 apartado 3.

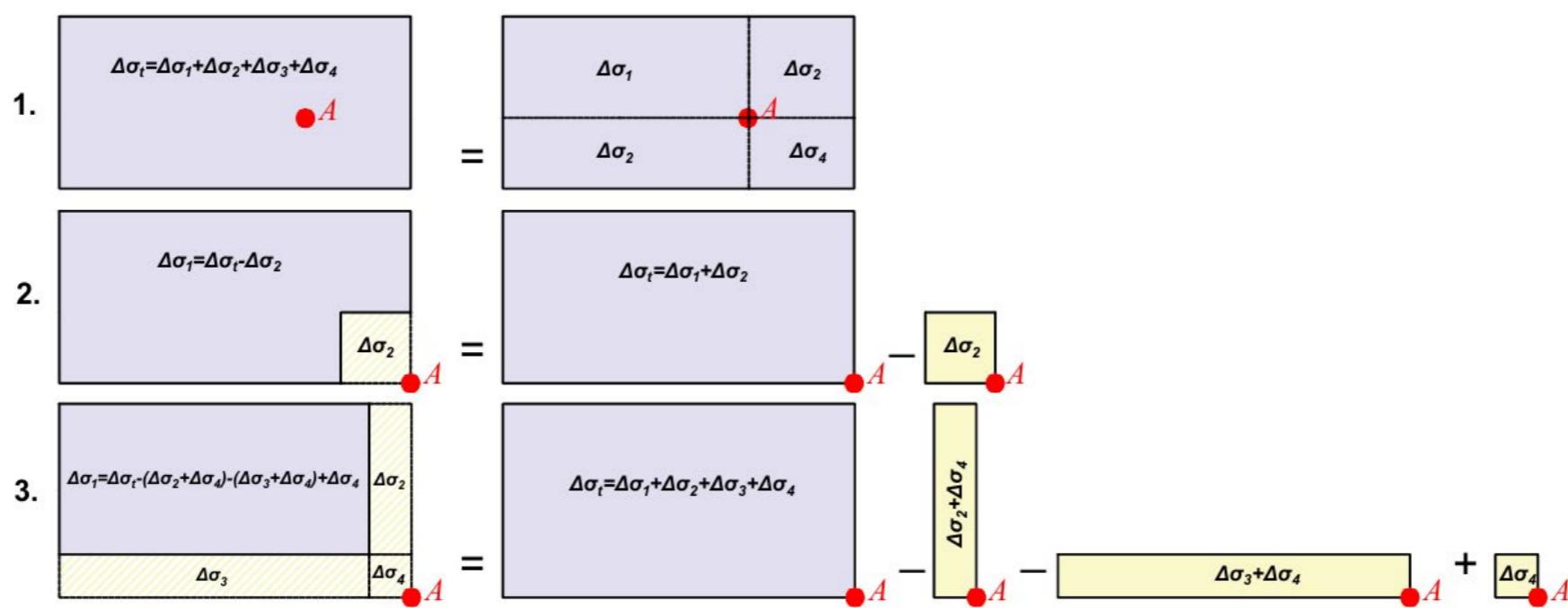


FIGURA 5  
Adaptación del cálculo de incremento de esfuerzos basado  
en la teoría de superposición

Duque y Escobar (2023)

#### Adaptación de la forma de la cimentación del edificio a la fórmula de Boussinesq

El edificio de la Facultad de Ciencias Humanísticas y Sociales, está conformado por tres bloques. En AutoCAD se diseñó la cimentación del edificio (Figura 6) para poder tener las medidas respectivas y aplicar la fórmula de Boussinesq. A fin de optimizar los cálculos, se designaron con números romanos los espacios entre las vigas mismos que representan los rellenos con material de mejoramiento. El punto A, es el punto donde se calcularon los incrementos de esfuerzo a profundidades desde 1 a 15 metros.

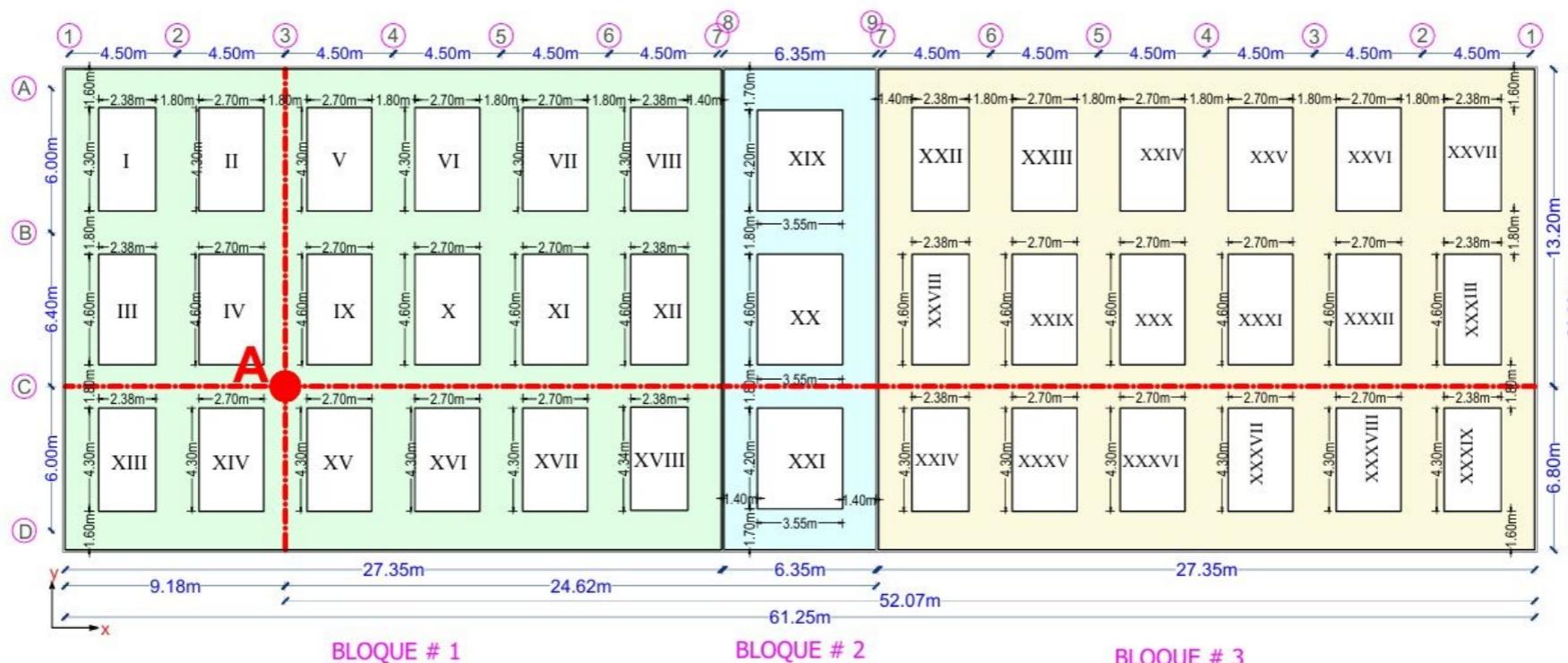


FIGURA 6  
Vista en planta de la cimentación del edificio de la Facultad  
de Ciencias Humanísticas y Sociales

La Figura 7 representa una parte de una sección de uno de los bloques de la cimentación del edificio con los espacios entre las zapatas corridas que están rellenos de material de reforzamiento. El área de relleno no se toma en cuenta para determinar el incremento de esfuerzo ya que saldría de la suposición de isotropía y homogeneidad de la carga de cimentación, por lo tanto, se resolvió esa particularidad, adaptando el cálculo de las secciones por el principio de superposición ya explicado.

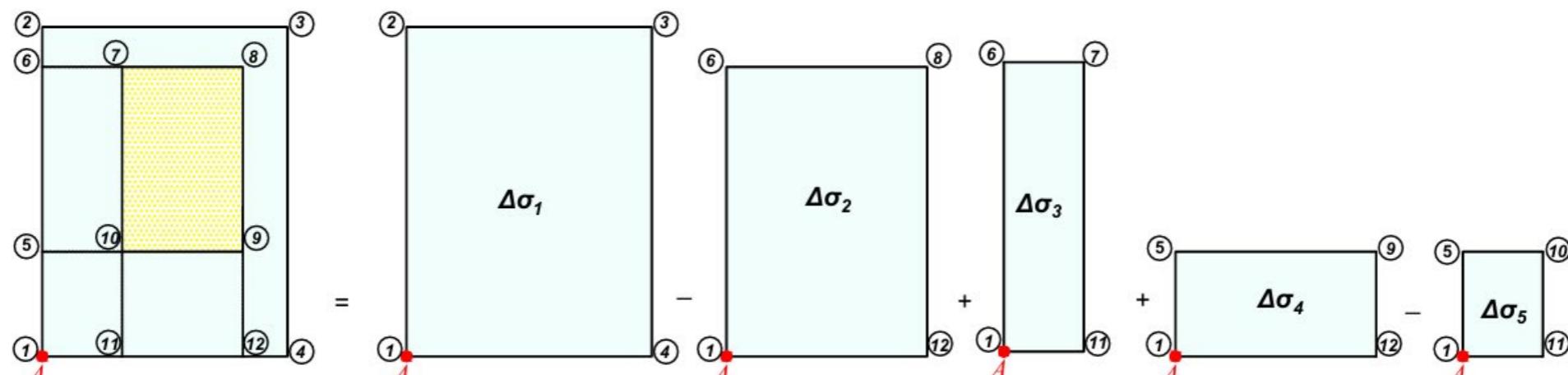


FIGURA 7  
Gráfico del incremento de esfuerzo de una de las secciones  
del edificio

En esta misma Figura se pueden divisar en esquema, una de las secciones de una de las cuatro partes del edificio representado en la Figura 6 con sus respectivas áreas. El espacio rectangular comprendido entre los números 7-8-9-10, es el espacio perteneciente al área de relleno que no se va a calcular. El área que comprende el rectángulo 1-2-3-4 es el área total y a la cual se debe restar el área de relleno. La fórmula representada por la ecuación 6, expresa de forma analítica la suma de los incrementos de los esfuerzos de la Figura 7.

$$\Delta\sigma_t = \Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2 + \Delta\sigma_3 + \Delta\sigma_4 - \Delta\sigma_5 \text{ Ec. (6)}$$

En donde,

$\Delta\sigma_t$  = Incremento del esfuerzo del área total de la sección.

$\Delta\sigma_1, \Delta\sigma_2, \Delta\sigma_3, \Delta\sigma_4, \Delta\sigma_5$  = Incremento del esfuerzo correspondientes a los respectivos rectángulos.

Cada sección del edificio ha sido analizada por el método de superposición, lo que permitió determinar el valor de la carga correspondiente en las cuatro áreas en que se ha dividido la estructura. Este procedimiento permite considerar el punto A como referencia para la suma total de cargas. El cálculo en cada sección se basa en la suma de los incrementos de esfuerzo generados en sus respectivas áreas, modeladas como cargas uniformemente distribuidas sobre formas rectangulares. La aplicación rigurosa del método de superposición, conforme a lo ilustrado en la Figura 5, garantiza la compatibilidad entre los efectos parciales y la respuesta estructural general, considerando los criterios de linealidad y elasticidad del sistema.

#### Carta de Influencia de Newmark para el cálculo de Incremento de Esfuerzos del Suelo

Nathan Mortimore Newmark, diseñó a escala la Carta de Influencia (Ver Figura 8) para determinar el esfuerzo vertical ( $\sigma_z$ ) en cualquier punto debajo de un área flexible uniformemente cargada. Este método gráfico consiste en dibujar círculos concéntricos divididos por líneas radiales igualmente espaciadas y es aplicado en diferentes tipos de carga: de forma rectangulares, circulares e irregulares (Das, 2001). Los gráficos de influencia se basan en la teoría de Boussinesq, al utilizarse tienen como finalidad contar el número de áreas o segmentos que se encuentran dentro del límite del área cargada que se dibuja a la escala adecuada en el gráfico (Holtz et al., 2011).

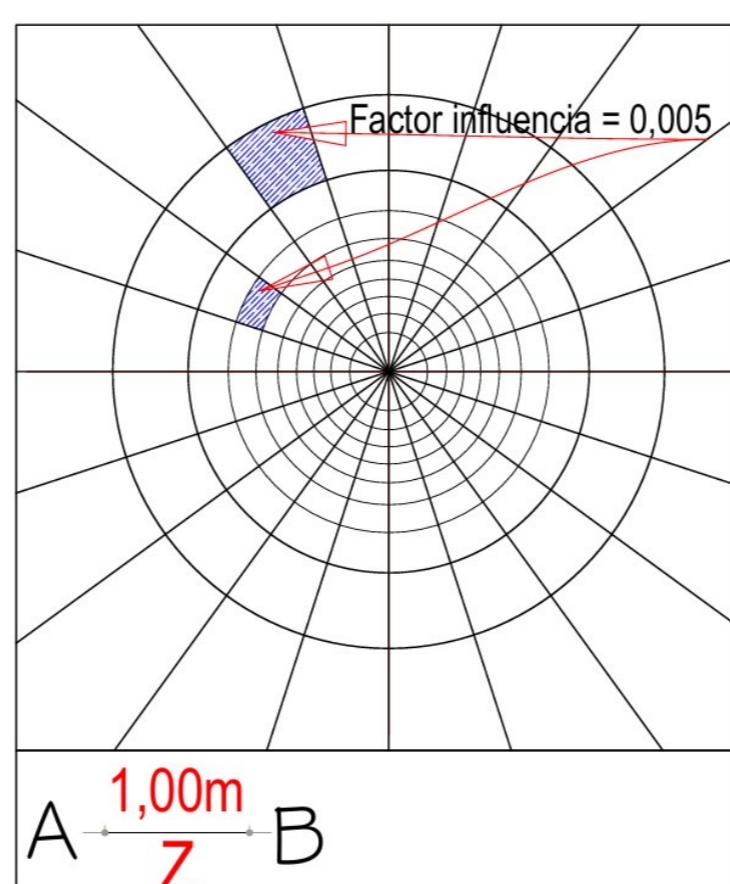


FIGURA 8  
Carta de Newmark escalada

Según Newmark (1942), la carta representa un plano de la superficie del cuerpo elástico dibujado a tal escala que la longitud marcada (AB) es la profundidad (z) a la que se calcula el esfuerzo vertical. El gráfico se puede duplicar, es decir, aumentar el número de segmentos o dibujarse en diferentes escalas.

El esfuerzo producido por una carga de forma irregular o simétrica se calcula con la ecuación 7:

$$\Delta\sigma_z = I * N * q \text{ Ec. (7)}$$

Donde,

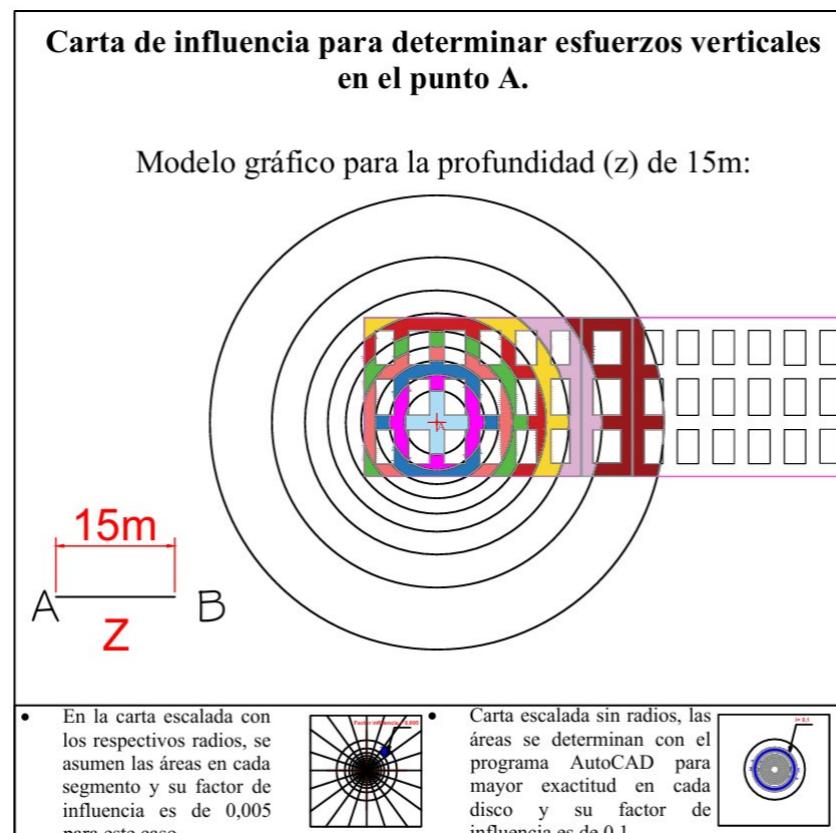
I= Factor de Influencia

N= Número de segmentos de cada disco o corona contenidos en la superficie irregular o simétrica

q= Carga uniformemente distribuida

### Adaptación de la cimentación del edificio a la Carta de Influencia de Newmark

La modelación de una carta de influencia se efectuó con del programa AutoCAD. Se escaló el gráfico de Newmark para cada una de las profundidades que oscilan de 1 m a 15 m, la planta de cimentación se conservó con sus medidas originales, cumpliendo con el principio de  $z=AB$ . (Ver Figura 9).



**FIGURA 9**  
Modelación del edificio de Ciencias Humanísticas y Sociales en  
la Carta de Newmark

Se diseñó la carta de influencia al 10%. Es importante que coincida el punto A con el centro del círculo. Una vez determinadas  $\Delta\sigma/q$ ;  $R/z$  y definida la profundidad se calcularon los respectivos radios para cada uno de los círculos. El esfuerzo que produce cada círculo de carga formado con los radios equivale  $0.10 q$ . Los círculos dibujados de manera concéntrica dieron origen a los discos (un disco corresponde al área que se forma entre dos círculos), para cada uno de estos discos su influencia es de 0,1, es decir, el incremento del esfuerzo que se distribuye hacia el suelo en la profundidad (z) equivale a  $0,10 q$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

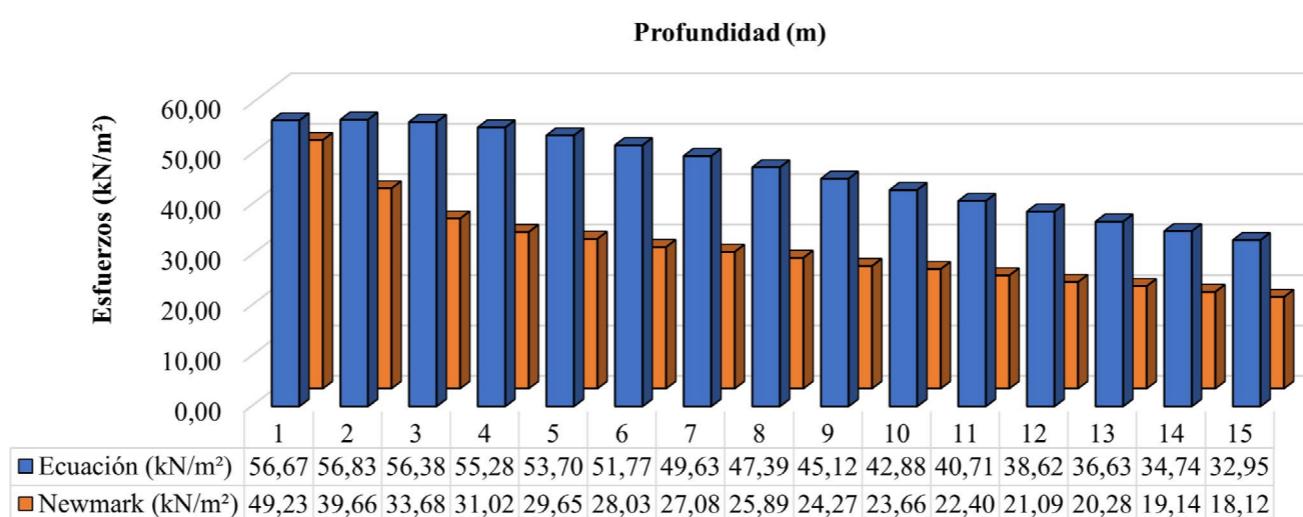
La Tabla 1 refleja los resultados obtenidos de los esfuerzos verticales en el punto A para cada bloque del edificio por los dos métodos además muestra las diferencias en  $\text{kN/m}^2$  y en porcentajes.

Con la fórmula de Boussinesq, se puede ver que los valores de los bloques 2 y 3 que están más lejanos al punto de referencia A, van disminuyendo durante todos los valores de profundidad. Algo parecido muestra el modelo de Newmark, con la diferencia de que en esos bloques 2 y 3 a profundidades hasta 10 y 14 metros no refleja valores.

**TABLA 1**  
**Resultados de los esfuerzos verticales en el punto “A” por**  
**Boussinesq y Newmark**

Método Bloque	Ecuación de Boussinesq			Carta de Newmark			Esfuerzos Verticales finales		Diferencia de esfuerzos entre los dos métodos	
	1	2	3	1	2	3	Boussinesq	Newmark	kN/m <sup>2</sup>	%
Carga	56,50 kN/m <sup>2</sup>	62,17 kN/m <sup>2</sup>	56,66 kN/m <sup>2</sup>	56,50 kN/m <sup>2</sup>	62,17 kN/m <sup>2</sup>	56,66 kN/m <sup>2</sup>				
<b>z (m)</b>	$\Delta\sigma_A$ (kN/m <sup>2</sup> )									
1	52,19	2,35	2,14	49,23	-	-	56,67	49,23	7,44	13,13
2	42,78	7,35	6,70	39,66	-	-	56,83	39,66	17,18	30,23
3	36,52	10,39	9,47	33,68	-	-	56,38	33,68	22,69	40,25
4	33,05	11,64	10,60	31,02	-	-	55,28	31,02	24,27	43,89
5	30,91	11,93	10,86	29,65	-	-	53,70	29,65	24,05	44,78
6	29,28	11,77	10,72	28,03	-	-	51,77	28,03	23,74	45,86
7	27,81	11,42	10,40	27,08	-	-	49,63	27,08	22,55	45,44
8	26,38	10,99	10,01	25,89	-	-	47,39	25,89	21,50	45,36
9	24,98	10,53	9,61	24,27	-	-	45,12	24,27	20,85	46,21
10	23,61	10,08	9,20	23,59	0,08	-	42,88	23,66	19,22	44,82
11	22,27	9,63	8,81	22,14	0,26	-	40,71	22,40	18,30	44,96
12	20,98	9,20	8,44	20,74	0,35	-	38,62	21,09	17,53	45,39
13	19,75	8,78	8,09	19,59	0,68	-	36,63	20,28	16,34	44,62
14	18,59	8,39	7,76	18,17	0,84	0,13	34,74	19,14	15,60	44,90
15	17,49	8,01	7,45	17,30	0,63	0,19	32,95	18,12	14,83	45,02

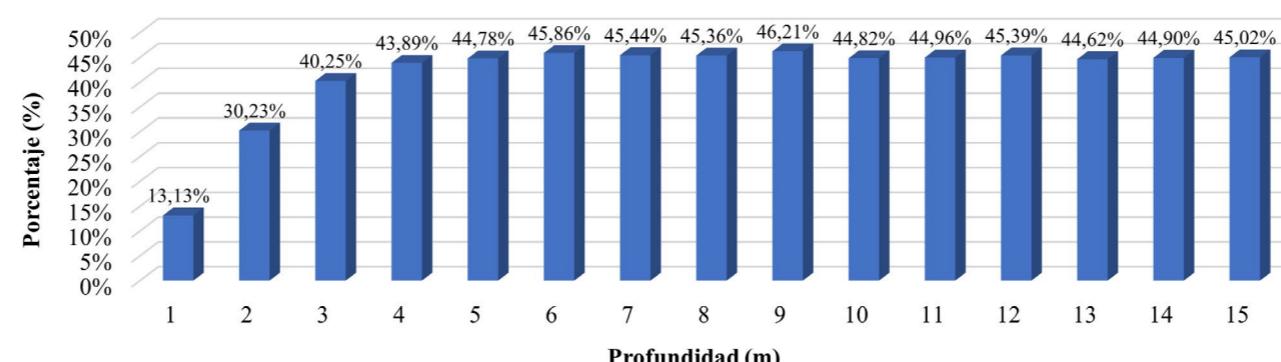
A continuación, la Figura 10 muestra los resultados del incremento de los esfuerzos verticales en el punto A por los dos métodos aplicados.



**FIGURA 10**  
**Histograma de los esfuerzos verticales por los dos métodos**

Esta Figura 10 representa claramente las diferencias de los datos de los esfuerzos respecto a las profundidades. Boussinesq pone a consideración una disminución de valores de esfuerzo a partir de los 4 metros de profundidad, mientras que Newmark nos dice que hay una disminución pronunciada ya a los 2 metros, pero a partir de ese valor, mantiene una proporcionalidad hasta llegar a los 15 metros.

En la Figura 11 se resaltan los valores de las comparaciones en términos de porcentajes.



**FIGURA 11**  
**Diferencia de los esfuerzos verticales entre ambos  
métodos en porcentaje.**

Se nota claramente que el método gráfico de Newmark presenta diferencias con respecto al método analítico de Boussinesq con valores que superan el 45 % a partir de los 3 m de profundidad. Esto se debe a la forma en que cada modelo calcula las cargas distribuidas de la estructura y las analiza conforme su perspectiva. Desde los dos metros de profundidad, hay un avance acelerado de la diferencia porcentual, y se va estabilizando a partir de los 6 metros hasta el final que son los 15 m.

## CONCLUSIONES

El análisis de los esfuerzos verticales en el punto A, calculados mediante la teoría analítica de Boussinesq y el método gráfico de Newmark representados tanto en la Tabla 1 y la Figura 10 revela un comportamiento ajustado a los principios de distribución de cargas en suelos. Se observa que, conforme se incrementa la profundidad, los valores de esfuerzo vertical decrecen paulatinamente sin llegar a anularse, demostrándose de esta manera cómo se comporta el terreno a diferentes profundidades y, además, cómo incide continuamente la carga hasta los 15 metros.

En la Tabla 1, los bloques 2 y 3, laterales al punto de análisis A, presentan valores de esfuerzo menores en comparación con el bloque 1, constatando que la dispersión lateral de las tensiones disminuye mientras horizontalmente se aleja de punto de A de carga. En el presente estudio, es evidente que la distribución tanto vertical como horizontal, confirma que el efecto de una carga superficial en el suelo decrece gradualmente, pero mantiene su acción en zonas alejadas del punto de carga.

En la Figura 10 se observa que los esfuerzos obtenidos por el método de Boussinesq son sistemáticamente superiores a los estimados por el método gráfico de Newmark. Esta discrepancia se mantiene constante desde los primeros metros hasta los 15 m de profundidad, lo que indica que la divergencia entre modelos no se reduce con la profundidad, aunque ambos reflejan una tendencia decreciente en los valores de esfuerzo.

La fórmula de Boussinesq, al estar fundamentada en hipótesis de carga repartida uniformemente en un espacio homogéneo, isótropo y elástico, aporta con soluciones precisas en situaciones idealizadas. Sin embargo, su aplicación se ve limitada frente a geometrías reales como es el caso del edificio en estudio, generando desviaciones significativas en estimaciones de esfuerzos con la profundidad. Por contraste, el método gráfico de Newmark permite incorporar por la superposición de cargas y adaptarse a la forma de la cimentación, ofreciendo una representación más clara del comportamiento del suelo con cargas abstractas.

Gracias a la investigación también fue posible tener claras las ventajas, limitaciones y obtener resultados aceptables, puesto que, entre el método de Boussinesq y Newmark se presentaron variaciones considerables que no sobrepasan del 50 % además que los valores son relativamente inferiores en comparación a la carga aplicada, por tanto, no se encontraron alteraciones al respecto. Los resultados proporcionan información clave para el diseño seguro de obras subterráneas y la optimización de la cimentación del edificio.

## RECOMENDACIONES

El análisis presentado en la Tabla 1 y los cálculos correspondientes ilustrados en la Figura 9, nos advierte que no se recomienda aplicar la Carta de Influencia de Newmark cuando las dimensiones de la estructura sobrepasan el límite espacial definido por los círculos concéntricos de la carta. Esta condición puede generar subestimaciones significativas en los esfuerzos verticales, especialmente en zonas periféricas, debido a la pérdida de representatividad gráfica fuera del área de influencia.

Este estudio, demuestra lo importante que es considerar tanto el modelo geométrico de la cimentación como la profundidad de análisis matemático en los estudios geotécnicos. Los resultados evidencian que, aunque los esfuerzos se reducen, el suelo continúa transmitiendo tensiones inclusive a profundidades grandes, por lo tanto, son condiciones que se deben tomar en cuenta en el diseño estructural para evitar daños por acumulación de estos esfuerzos residuales.

### Contribuciones de los autores

Vanessa Julessy Pilozo-Pilozo: investigación, software, análisis formal.

Bryan Fernando Palma-Villavicencio: redacción – revisión y edición, validación, borrador original.

Marguith Yanira Espín-León: conceptualización, redacción, metodología, supervisión, administración del proyecto.

### Cesión de derechos y declaración de conflicto de intereses

La revista FIGEMPA: Investigación y Desarrollo conserva los derechos patrimoniales (copyright) de la obra publicada, al mismo tiempo que promueve y permite su reutilización. La obra se publica en edición electrónica bajo la licencia Creative Commons CC-BY 4.0, que permite a los usuarios compartir, copiar y redistribuir el contenido, siempre que se dé el debido reconocimiento a los autores. ([https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es\\_ES](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es_ES)).

Los autores declaran haber respetado los principios éticos de investigación y estar libre de cualquier conflicto de intereses.

## REFERENCIAS

Coa-Mamani, R. E. y Obregón-Ramos, J. V. (2023) "Modelación Matemática como Estrategia Didáctica: Una Perspectiva Procedimental de Formación Académica y Científica", *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 16(2), pp. 259-272. Doi: 10.37843/rted.v16i2.410

Coduto, D. P., Kitch, W. A. y Yeung, M. R. (2016) *Foundation design: principles and practices*. Tercera edición. United States of America: Pearson. Disponible en: <https://campusstore.miamioh.edu/foundation-design-principles-practices-3rd/bk/9780133411898>

Coduto, D. P., Yeung, M. R. y Kitch, W. A. (2011) *Geotechnical engineering: principles and practices*. Segunda edición. USA: Pearson Higher Education. Disponible en: [https://descubridor.banrepultural.org/discovery/fulldisplay/alma991010117539707486/57BDLRDC\\_INST:57BDLRDC\\_INST](https://descubridor.banrepultural.org/discovery/fulldisplay/alma991010117539707486/57BDLRDC_INST:57BDLRDC_INST)

Das, B. M. (2001) *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Primera edición. México: Thomson. Disponible en: <https://catalogo.utc.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=5016>

Das, B. M. (2012) *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. Séptima edición. México: Cengage Learning. Disponible en: [https://openlibrary.org/works/OL17716875W/Fundamentos\\_de\\_ingenier%C3%ADa\\_de\\_cimentaciones?edition=key%3A/books/OL26318232M](https://openlibrary.org/works/OL17716875W/Fundamentos_de_ingenier%C3%ADa_de_cimentaciones?edition=key%3A/books/OL26318232M)

Das, B. M. (2015) *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cuarta edición. México: Cengage Learning. Disponible en: <https://ebooks.ucacue.edu.ec/library/publication/fundamentos-de-ingenieria-geotecnica-1734735678>

Das, B. M. y Sivakugan, N. (2019) *Principles of Foundation Engineering*. Novena edición. USA: Cengage Learning. Disponible en: <https://www.cengageasia.com/title/default/detail?isbn=9781337705035>

Design Horizons (2024) *Understanding Distributed Loads in Structural Design*. Disponible en: <https://designhorizons.org/understanding-distributed-loads-in-structural-design/>

Duque, G. y Escobar, C. E. (2023) *Geomecánica*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/57121>

García, L. J., Rodríguez, J. P., Escobar, A. M. y Zambrano, L. D. (2021) "Análisis Estructural y propuesta de reforzamiento del edificio de Facultad de Ciencias Humanísticas de la Universidad Técnica de Manabí", *Revista de Investigaciones en Energía Medio Ambiente y Tecnología RIEMAT*, 6(1), pp. 14-25. Doi: 10.33936/riemat.v6i1.3686

Holtz, R. D., Kovacs, W. D. y Sheahan, T. C. (2011) *An introduction to geotechnical engineering*. Second Edition. NJ: Pearson. Disponible en: <https://studylib.net/doc/26055941/an-introduction-to-geotechnical-engineering-by-robert-d-...>

Jiménez, J. A., Justo, J. L. y Serrano, A. A. (1981) *Geotecnia y Cimientos II. Mecánica del suelo y de las rocas*. Segunda edición. España: Rueda. Disponible en: <https://www.editorialrueda.es/bibliografia/GEOTECNIA-Y-CIMENTOS-II-p572823938>

MIDUVI (2014) *Cargas No Sísmicas*. Norma Ecuatoriana de la Construcción. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sísmicas.pdf>

Newmark, N. M. (1942) *Influence charts for computation of stresses in elastic foundations*. USA: University of Illinois at Urbana Champaign, College of Engineering. Engineering Experiment Station. Disponible en: <https://hdl.handle.net/2142/4170>

Ortiz, L. (2007) *Resistencia de materiales*. Tercera edición. España: McGraw-Hill Interamericana de España. Disponible en: <https://www.margenlibros.com/libro/resistencia-de-materiales-3-ed- 84006>

Peck, R. B., Hanson, W. E. y Thornburn, T. H. (2004) *Ingeniería de cimentaciones*. Segunda edición. Limusa. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=qT9JQQAACAAJ>

Ramos Baez, M. B., Arroyo, E. A. y Pizzutti, H. D. (2024) "Influencia del espesor en el costo de losas bidireccionales de hormigón armado", *JIDeTEV*, (14). Disponible en: <https://autoresjidetev.fio.unam.edu.ar/index.php/jidetev/article/view/47>

Solórzano-Barreto, S. S., Villegas-Gorozabel, E. A., Delgado-Gutiérrez, D. A. y Macías-Sánchez, L. K. (2022) "Integración de una ciclovía en la movilidad interna de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo", *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 5(9), pp. 18-37. Disponible en: <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/84>

Suradi, M., Hasanuddin, H. A., y Nursamiah, N. (2021) "Vertical Stress Distribution at Soil Layers with Various Consistencies under the Footing Contact Area", *Lowland Technology International*, 22(4). Disponible en: [https://cot.unhas.ac.id/journals/index.php/ialt\\_lti/article/view/697](https://cot.unhas.ac.id/journals/index.php/ialt_lti/article/view/697)

Universidad Técnica de Manabí (2019) *Plan estratégico de desarrollo institucional [PEDI] 2022-2026*. Disponible en: <https://www.utm.edu.ec/la-universidad/nuestra-universidad/plan-estrategico>

Universidad Técnica de Manabí (2024) *Rendición de Cuentas 2023*. Disponible en: <https://www.utm.edu.ec/rendicion-de-cuentas/rendicion-de-cuentas-2023>

Véliz, V. F. y Zambrano, E. R. (2019) "Zona rural y su nueva visión de la Educación Superior en Ecuador", *Revista espacios*, 40(8), pp. 10-21. Disponible en: <https://revistaespacios.com/a19v40n08/19400810.html>

Yepes, V. (2019) "principio de superposición – El blog de Víctor Yepes", 12 noviembre. Disponible en: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/principio-de-superposicion/> [Consultado 01-01-2025].

Zeldovich, Y. y Yaglom, I. (1987) *Matemáticas Superiores*. Primera edición. Mir Moscú. Disponible en: <https://urss.ru/cgi-bin/db.pl?blang=en&id=8698&lang=sp&page=Book>