
Análisis numérico de la capacidad de cimientos profundos en suelos estratificados

Almengor, Larisa

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
larisa.almengor@utp.ac.pa/https://orcid.org/0009-0007-7722-3383

Grajales-Saavedra, Francisco

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de Panamá
Ciudad de Panamá, Panamá
francisco.grajales@utp.ac.pa/https://orcid.org/0000-0003-1705-864X

Abstract

The use of piles aims to bring more stability to structures without compromising its integrity. In the particular case of lateral loads, piles are subject to multiple lateral loads depending on the place where they are installed. The objective of this research is to carry out an analysis and numerical modelling of the behavior of a pile under lateral loads, considering the pile installation in layered soil and the properties of the pile. As part of this research a literature review of the analysis and design of piles in layered soil under the action of lateral loads was developed. Subsequently, a simplified procedure using finite difference method was developed and integrated into a spreadsheet that allows to calculate systematically and repetitively the pile capacity under lateral loads in layered soils. Results obtained in this research will be validated through comparisons of the numerical predictions to experimental tests and tests previously carried out and documented in the literature.

Keywords: Pile, lateral load, layered soil, numeric modelling, structure.

Resumen

El uso de pilotes tiene como finalidad dar mayor estabilidad a las estructuras sin comprometer la integridad de esta. En el caso particular de cargas laterales, los pilotes se ven sometidos a múltiples cargas laterales dependiendo del lugar donde son instalados. El objetivo de esta investigación es realizar un análisis y modelación numérica del comportamiento de un pilote ante la acción de carga lateral, considerando las propiedades del pilote y la instalación de este en un suelo estratificado. Para el desarrollo de esta investigación se realizó revisión literaria extensiva sobre el análisis y diseño de pilotes instalados en suelos estratificados y sometidos a cargas laterales. Posteriormente, se desarrolló un procedimiento simplificado utilizando

el método de diferencias finitas y de esta manera sintetizar el procedimiento programando una hoja de cálculo que permita calcular la capacidad de pilotes bajo carga lateral en suelos estratificados de forma sistemática y repetitiva. Los resultados obtenidos en esta investigación serán validados mediante comparaciones de predicciones numéricas de ensayos y pruebas experimentales realizadas previamente y documentadas en la literatura.

Palabras claves: Pilotes, carga lateral, suelo estratificado, modelación numérica, estructura.

1. INTRODUCCIÓN

La utilización de pilotes como cimentación profunda es empleada desde el siglo XIX, se observó que era necesario utilizar elementos más grandes y pesados, los cuales tuvieron la finalidad de aportar mayor estabilidad a las estructuras sin poner en riesgo la estabilidad de esta. En el proceso de diseño de pilotes es importante tener en cuenta las cargas actuantes a las que se verá sometido este, siendo las cargas laterales las que comúnmente afectan en mayor magnitud a la estructura. A lo largo de los años se han realizado numerosas investigaciones para el estudio de pilotes sometidos ante la acción de cargas laterales, los cuales han contribuido a mejorar el desempeño de estas fundaciones.

Las cargas laterales afectan dependiendo del lugar y del suelo donde se instale el pilote. En el caso particular de pilotes instalados en el mar, las cargas laterales que afectan comúnmente a la estructura son el oleaje, las corrientes marinas, el atraque y desatraque de buques, el viento, la presión lateral de la tierra [1]. El comportamiento del pilote puede darse por flexión o tracción, siendo la interacción suelo-estructura, parte influyente en este comportamiento.

A. INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA

La interacción suelo-estructura es producida a la interdependencia de ambos sistemas, donde las cargas que actúen sobre el pilote se transmiten al suelo por medio de la cimentación, generando una reacción en ambos sistemas, la cual puede variar según las características del pilote (e.g. diámetro, longitud, material) y las características del suelo (e.g. tipo de suelo, ángulo de fricción, cohesión) (Ver Fig.1). Por tanto, entre más se modifique el elemento debido al movimiento del suelo, mayor será la interacción suelo-estructura [2].

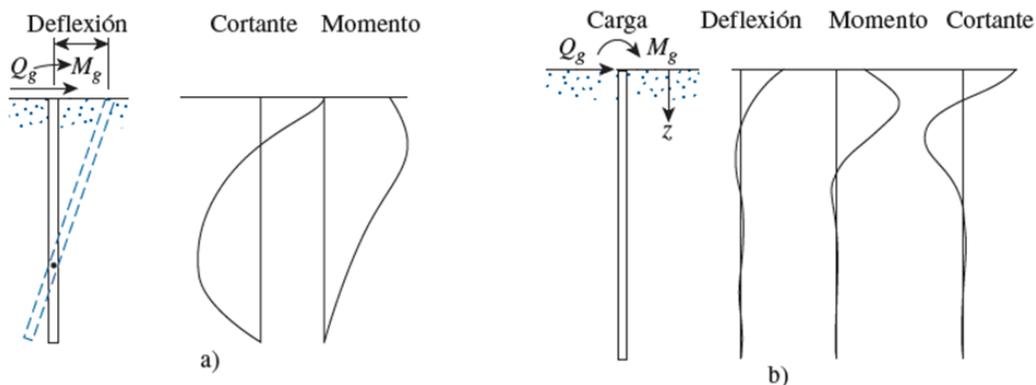


Fig. 1. Fenómeno suelo-estructura debido a la acción de cargas. [3].

2. MÉTODO DE CURVAS P-Y

Para representar el fenómeno suelo-estructura se utiliza el método de curvas p-y, el cual divide el pilote en varios elementos individuales, cada uno de ellos asociado a resortes equivalentes. Cada curva obtenida es única, ya que la mismas se generan para propiedades únicas del suelo y del pilote. De esta manera se describe la relación no lineal entre la deflexión del pilote y la resistencia del suelo.

Comúnmente, las cimentaciones suelen instalarse en suelos estratificados, lo que conlleva un gran reto para el diseñador debido a todas las variables que puedan presentarse. La información de pilotes en suelos estratificado es escasa, sin embargo, Georgiadis en 1983 [4], desarrolló un método de curvas p-y para suelos estratificados (Ver Fig. 2), el cual consiste en determinar la profundidad “equivalente” de todos los estratos debajo del estrato superior. En este método se debe determinar las curvas p-y del primer estrato considerando que este es homogéneo y, posteriormente, calcular la fuerza requerida para llevar a falla el suelo para determinar la profundidad “equivalente” de los siguientes estratos.

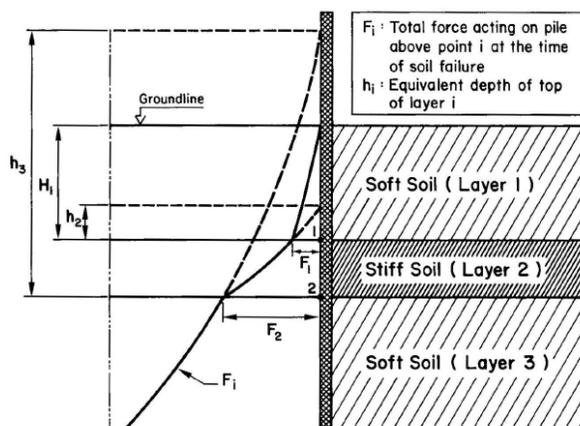


Fig. 2. Determinación de profundidades de los estratos según el método de curvas p-y propuesto por Georgiadis (1983) [4].

2. MÉTODO

Para el desarrollo de esta investigación se tuvo a bien establecer un procedimiento que permitiera puntualizar los pasos a seguir para la obtención de resultados. En Fig. 3 se puede observar un diagrama simplificado del procedimiento utilizado. La primera fase del procedimiento consistió en la revisión literaria, lo que conllevó a la selección de suelos que se emplearían para la investigación y, posteriormente, elegir y estudiar el método de curva p-y adecuado para cada suelo seleccionado. Los suelos seleccionados fueron la arena y la arcilla, en cuanto a los métodos de curvas p-y, se asignaron el método propuesto por Reese para arena y el método de Matlock para arcillas. Posteriormente, se inició la segunda fase, la cual consistió en la creación de la hoja de cálculo, la cual contiene los cálculos para la construcción de curvas p-y, la matriz de rigidez para cada curva calculada y las gráficas de deformación, cortante y momento. La última fase consiste en la validación del análisis realizado en la hoja de cálculo, dicha validación se logrará a través de la comparación con datos de campo.

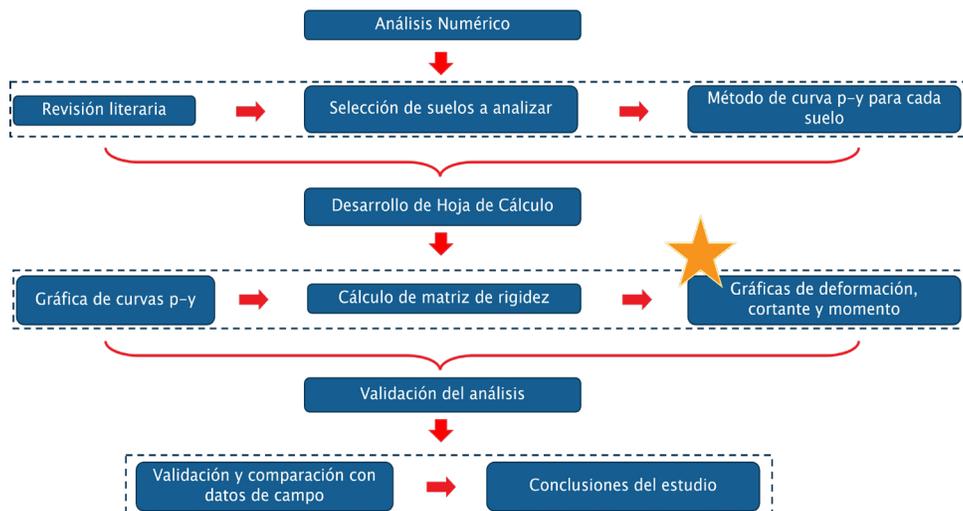


Fig. 3. Esquema utilizado para el desarrollo de la investigación.

Es importante resaltar que el procedimiento anteriormente explicado aún se encuentra en desarrollo, tal y como se aprecia en la Fig. 3, se destaca con una estrella la fase en la que actualmente se encuentra la investigación, en la sección de resultados se detallan los avances obtenidos a la fecha.

3. RESULTADOS

Si bien es cierto, aún no se ha completado el estudio. Sin embargo, los avances obtenidos a la fecha son relevantes ya que representan un 65% de la investigación. Para el desarrollo de la investigación se emplearon los parámetros del suelo y del pilote que se presentan en la Tabla 1. El pilote en cuestión fue discretizado en 40 secciones para ambos tipos de suelo.

Tabla 1. Parámetros utilizados para el desarrollo de la investigación.

Pilote	Arena	Arcilla
L = 15 m	$\Phi = 35$	Cu = 190
D = 0.61 m	$\gamma = 9.8$	$\gamma = 9.8$
Incremento de prof. = 0.375	Consistencia = densa	Consistencia = media
Módulo de elast. = 61554356.08	N. F. = Sobre	N. F. = Sobre
	Kpy = 61000	$\epsilon_{50} = 0.005$

En primera instancia, se establecieron los datos de entrada, se realizó la programación correspondiente de las curvas p-y según el tipo de suelo (Fig. 4 (a) y (b)) y se estableció la ecuación fundamental y las condiciones de borde. Seguidamente, se ensambló la matriz de rigidez, planteando la ecuación diferencial de diferencia finita, en la cual se asumió un valor de deflexión inicial de 0.04 m a lo largo de todo el pilote, al realizar las operaciones correspondientes de la matriz, esta arrojó otra serie de deflexiones los cuales se iteraron hasta lograr minimizar el error. Se realizaron 3 iteraciones en total en cada suelo. A partir de los valores obtenidos por la matriz, se obtuvieron las gráficas de deflexión, cortante y momento del pilote.

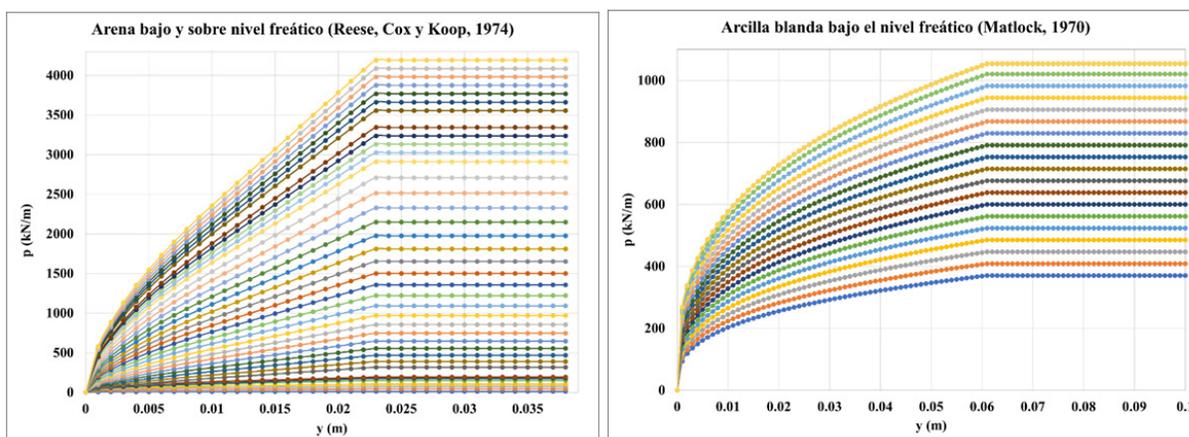


Fig. 4. (a) Método de curvas p-y para arena de Reese et. al. (1974), (b) Método de curvas p-y para arcilla de Matlock (1970)

Para efectos de este artículo en las Fig. 5(a), 5(b) y 5(c) se presentan las gráficas de deflexión, cortante y momento obtenidas para el pilote instalado en arena, las cuales son ejemplo de las gráficas obtenidas de la hoja de cálculo.

4. CONCLUSIONES

En base a la revisión literaria realizada, es importante comprender el uso adecuado de las curvas p-y dentro de la matriz de rigidez, al graficar las curvas de manera correcta podrá ayudar a minimizar los errores dentro de la matriz. Es por ello que realizar los cálculos correspondientes de manera manual servirá como comprobación del trabajo realizado.

Si bien es cierto, la investigación aquí presentada es un trabajo en progreso, los cálculos de las gráficas han sido validados de manera manual y se espera que puedan ser comparados con datos encontrados en la literatura, lo que permitirá que en las siguientes etapas de la investigación se logre un resultado más preciso.

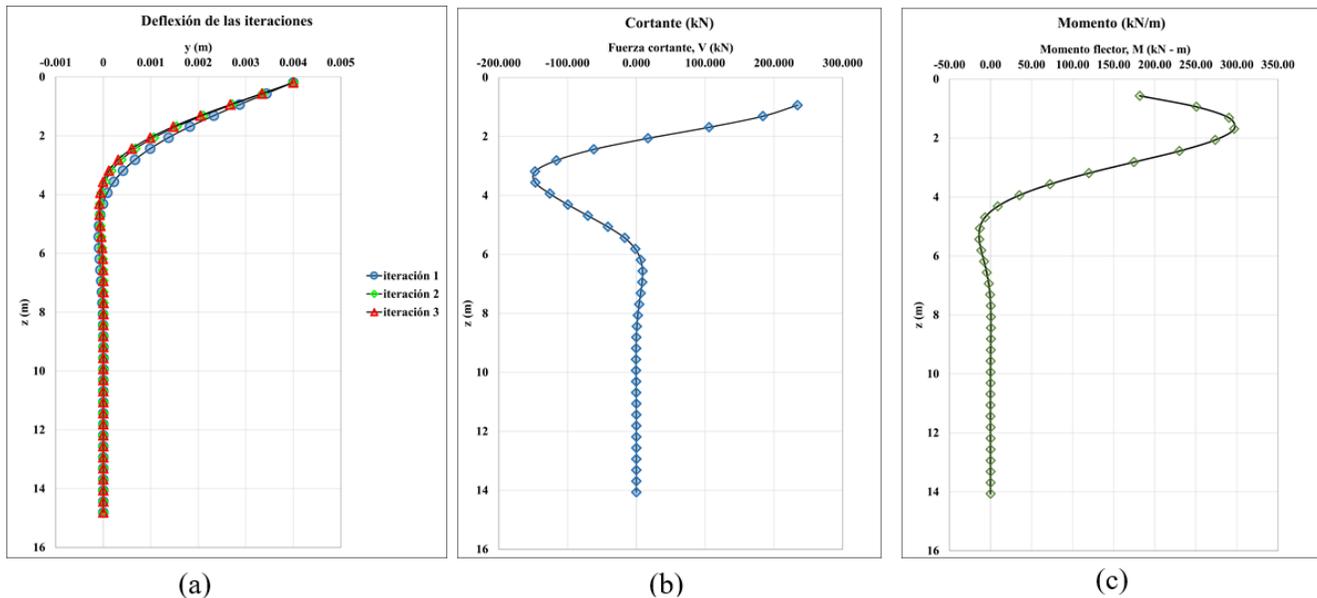


Fig. 5. (a) Diagrama de deflexión las iteraciones para el pilote en arena. (b) Diagrama de cortante del pilote en arena, (c) Diagrama de momento para el pilote en arena.

Como siguiente etapa se espera poder unir de manera estratigráfica los suelos estudiados de tal manera que se pueda observar el comportamiento de los pilotes ante cargas laterales, como ante la presencia de dos tipos de suelos. Esta etapa se logrará mediante el método de Georgiadis, quien, como se mencionó en la introducción, desarrolló un método para la elaboración de curvas p - y en suelos estratificados.

REFERENCIAS

- [1] Mejía Barba, George E., and Vallarino Castillo, Ruby Del C., Análisis Sistemático de Pilotes Bajo Carga Cíclica Mediante Resortes Equivalentes “ p - y ”. 2019. Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil.
- [2] Davisson, M. T. and Gill, H. L., Laterally loaded piles in a layered soil system. May 1963. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Vol 89 (SM3, Paper 3509), pp. 63-94. ASCE.
- [3] Das, B. M. (2012). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. (S. Cervantes & O. Ramírez, Eds.) (7th ed.). Cengage Learning. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/278994977/Fundamentos-de-Ingenieria-de-Cimentaciones-Braja-M-Da>
- [4] Georgiadis, M. Development of p - y curves for layered soils. April 27-29, 1983. Conference on Geotechnical Practice in Offshore Engineering Proceedings of the Conference on Geotechnical

Practice in Offshore Engineering: University of Texas in Austin, Austin Texas, pp. 536-545.

AUTORIZACIÓN Y LICENCIA CC

Los autores autorizan a APANAC XIX a publicar el artículo en las actas de la conferencia en Acceso Abierto (Open Access) en diversos formatos digitales (PDF, HTML, EPUB) e integrarlos en diversas plataformas online como repositorios y bases de datos bajo la licencia CC:

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Ni APANAC XIX ni los editores son responsables ni del contenido ni de las implicaciones de lo expresado en el artículo.