



JIDeTEV

Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción



JIDeTEV- Año 2022 -ISSN 2591-4219

Mejoramiento de la Capacidad de Carga de una Fundación Superficial Circular

Ricardo Daniel Caballero ^a

^a Centro de Geociencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Resistencia, Chaco.

ricardocaballero23@gmail.com

Resumen

Usualmente cuando fundamos una superestructura en un suelo de baja capacidad de carga recurrimos al uso de fundaciones profundas, más específicamente pilotes. Los pilotes son elementos de fundación que transfieren la carga de la superestructura hasta un estrato de suelo resistente que se encuentra a una profundidad varias veces el diámetro del pilote. Sin embargo, el uso generalizado de pilotes conlleva a un costo elevado e incompatible con el porte de algunas estructuras, como es el caso de instalaciones provisionarias de obradores, viviendas fonavi, bases para soporte de tuberías, bases de equipamientos, bases de tanques de almacenamiento de pequeño diámetro, instalaciones de postes de energía eléctrica, etc. Una alternativa que viene siendo investigada y mostrando buenos resultados para su utilización en suelos de baja capacidad de carga es el uso de fundaciones superficiales apoyadas en capas de refuerzo de suelo-cemento. En este trabajo se estudia esta alternativa a través de ensayos en modelo reducido de una fundación superficial circular apoyada en una capa mejorada de suelo-cemento. Los resultados obtenidos muestran un claro mejoramiento en la capacidad de carga del suelo y asentamiento de la fundación estudiada.

Palabras Clave – Mejoramiento de suelo – Fundación Superficial – Capacidad de carga – Modelo reducido.

1. Introducción

A medida que las ciudades se expanden, la ingeniería tiene que ocuparse de terrenos en regiones que antes estaban desatendidas, ya sea por su mayor distancia a los centros urbanos, por su accesibilidad o por las características propias del terreno, como las llanuras fluviales o los terrenos bajos. En estos lugares es frecuente la presencia de suelos con baja capacidad portante, lo que hace que el costo de las fundaciones sea una parte importante del costo total del proyecto. En esta situación, se suele recurrir a fundaciones profundas, lo que puede dar lugar a costos muy elevados e incompatibles con el porte del proyecto, como es el caso de instalaciones provisionarias de obradores, viviendas fonavi, bases para soporte de tuberías, bases de equipamientos, bases de tanques de almacenamiento de pequeño diámetro, instalaciones de postes de energía eléctrica, etc.

Una alternativa que se ha estudiado como posible solución es el uso de fundaciones superficiales apoyadas en capas de refuerzo de suelo-cemento ([1]; [2] y [3]), que han demostrado un aumento de la capacidad de carga y una reducción de los asentamientos.

Con la finalidad de colaborar al tema de fundaciones superficiales apoyadas de capas de refuerzo, este trabajo estudia, en modelo reducido, el comportamiento de una fundación circular apoyada en una capa de refuerzo en suelo-cemento.

2. Programa experimental

El programa experimental fue dividido en dos etapas. Primeramente, fue realizado la caracterización física de los materiales. En la segunda etapa se efectuaron los ensayos en modelo reducido de fundación superficial circular con y sin refuerzo.

2.1 Materiales

El suelo utilizado es una arena cuarzosa uniforme libre de materia orgánica obtenido de la región de Osório en el sur de Brasil. Las propiedades del suelo se encuentran en la Tabla 1 y la curva granulométrica del suelo es presentado en la Figura 1. Según [4] el suelo es clasificado como una arena mal graduada (SP).

Tabla 1: Propiedades físicas de la arena de Osório.

Propiedades	Valores
Densidad real de los granos (G)	2,61
% Grava ($d > 2$ mm)	0,0%
% de Arena Gruesa ($0,6 < d < 2$ mm)	0,0%
% de Arena Media ($0,2 < d < 0,6$ mm)	52,0%
% de Arena Fina ($0,06 < d < 0,2$ mm)	43,4%
% de Limo ($0,002 < d < 0,06$ mm)	3,5%
% de Arcilla ($d < 0,002$ mm)	1,1%
Diámetro Efectivo (D_{10}) mm	0,11
Diámetro (D_{30}) mm	0,16
Diámetro (D_{50}) mm	0,21
Diámetro (D_{60}) mm	0,23
Coficiente de Uniformidad (C_u)	2,13
Coficiente de Curvatura (C_c)	1,04
Relación de vacíos mínimo, (e_{\min})	0,54
Relación de vacíos máximo, (e_{\max})	0,81

Como agente cementante fue utilizado cemento Portland de alta resistencia inicial (Tipo III). Este material fue escogido debido a su acelerada ganancia de resistencia, llegando a los 7 días de curado cerca del 80% de su resistencia obtenida a los 28 días. Esa característica permite que el tiempo de curado adoptado para la ejecución de los ensayos de modelo reducido sea de 7 días.

Para la preparación de las capas de refuerzo y los ensayos de caracterización fue utilizada agua destilada.

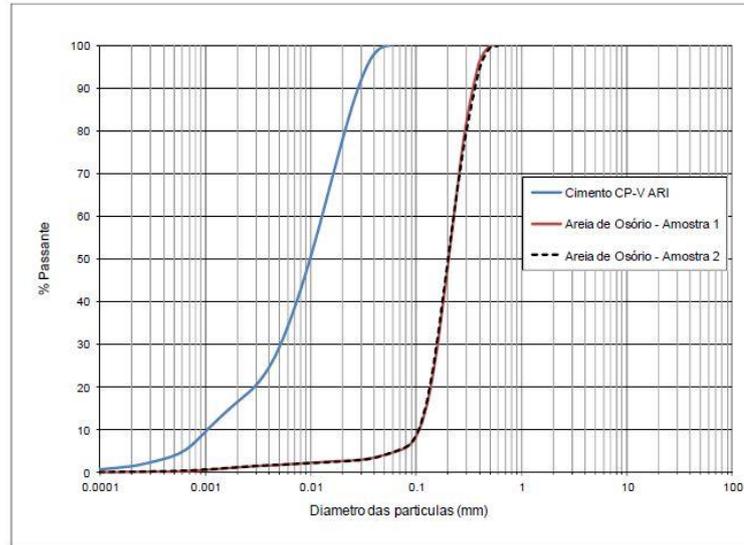


Fig. 1. Curva granulométrica de la arena y el cemento.

2.2 Métodos

2.2.1 Caracterización física del suelo

Los ensayos de granulometría se realizaron con un dispositivo que utiliza la difracción de un rayo láser que atraviesa una muestra y una cámara fotográfica para medir el tamaño de las partículas (CILAS 1180 - Particle Size Analyser), con capacidad de detección entre 0,00004 mm y 2,5 mm. La determinación de las relaciones de vacíos máximas y mínimas se realizó siguiendo la metodología prescrita en [5] y [6], respectivamente. Se realizaron mediciones del contenido de humedad para determinar la humedad higroscópica de la muestra de suelo y para verificar los parámetros de moldeo de todas las muestras utilizadas en las pruebas de caracterización y de carga. El procedimiento de prueba siguió lo descrito en [7].

Las pruebas de masa específica real de los granos de la muestra de cemento siguieron las recomendaciones de [8].

2.2.2 Ensayos en modelo reducido

Para realizar las pruebas de carga en el modelo reducido, se necesitó un equipo específico para ello. El equipo consta de una estructura metálica de soporte y reacción, un tanque de suelo, un sistema de aplicación de cargas, medición de desplazamientos y un sistema de adquisición de datos (Fig. 2).

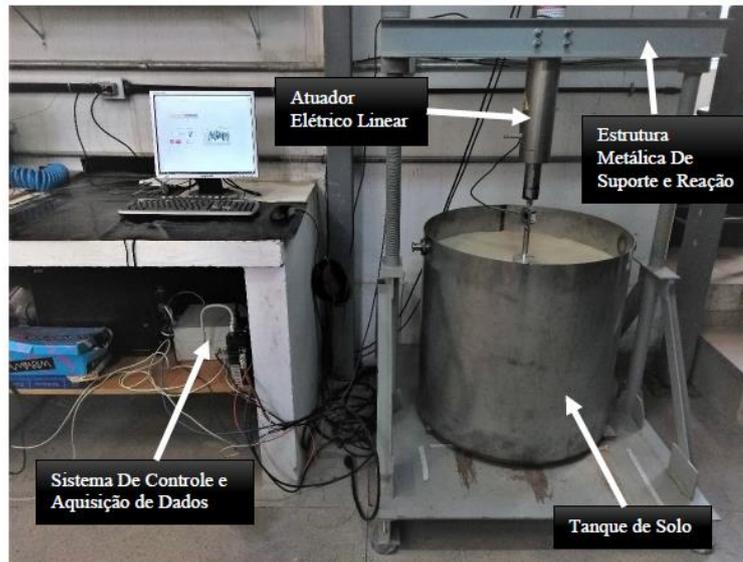


Fig. 2. Equipo necesario para la ejecución e los ensayos en modelo reducido.

El tanque se diseñó en acero inoxidable, buscando así una estructura con paredes rígidas y baja fricción. Las paredes y el fondo del tanque se construyeron con un grosor de 2 mm, lo que proporciona una rigidez suficiente. Las medidas internas del tanque eran de 0,70 m x 0,70 m (altura x diámetro).

El modelo de zapata circular tenía 80 mm de diámetro (D) y 50 mm de grosor, y era de aluminio. Se pegó un trozo de papel de lija debajo de la base de los cimientos para proporcionar rugosidad.

Con la intención de obtener un suelo en estado suelto, se utilizó para el llenado del tanque de suelo la técnica de lluvia de arena, que consiste en verter arena seca a través de una abertura, a una altura determinada, para obtener una muestra homogénea en términos de densidad relativa (Fig. 3). Esta técnica se ha utilizado cuando se requiere homogeneidad y repetibilidad en muestras de suelo arenoso [9].



Fig. 3. Elemento para el llenado del tanque con suelo en estado suelto.

Para no perturbar el suelo de base, que se encuentra en un estado suelto, las capas de refuerzo de suelo-cemento se moldearon externamente al tanque en moldes de madera.

La figura 4 presenta el ensayo listo para ser realizado. En ella se observa la capa de refuerzo en suelo-cemento, la zapata circular, dos sensores LVDT que miden el desplazamiento vertical y un vástago que proporciona la fuerza a la zapata.



Fig. 4. Ensayo en modelo reducido de zapata y capa de refuerzo.

3. Resultados

En la Figura 5 se muestra el resultado del ensayo en modelo reducido para la fundación superficial sin refuerzo. A través de este ensayo, tendremos una referencia de cual es la capacidad de carga alcanzada para una fundación sin refuerzo y luego poder compararla con los ensayos con refuerzo.

Para la definición de capacidad de carga fue utilizado el criterio de [10], donde la capacidad de carga se define como el punto de la curva tensión-desplazamiento a partir de la cual la inclinación se iguala a cero o a un valor mínimo constante. Considerando este criterio, la capacidad de carga del modelo reducido de una fundación circular con un diámetro de 80 mm, sometida a una carga vertical centrada, asentada en la superficie de una arena con un $D_r = 27\%$ es de 18 kPa.

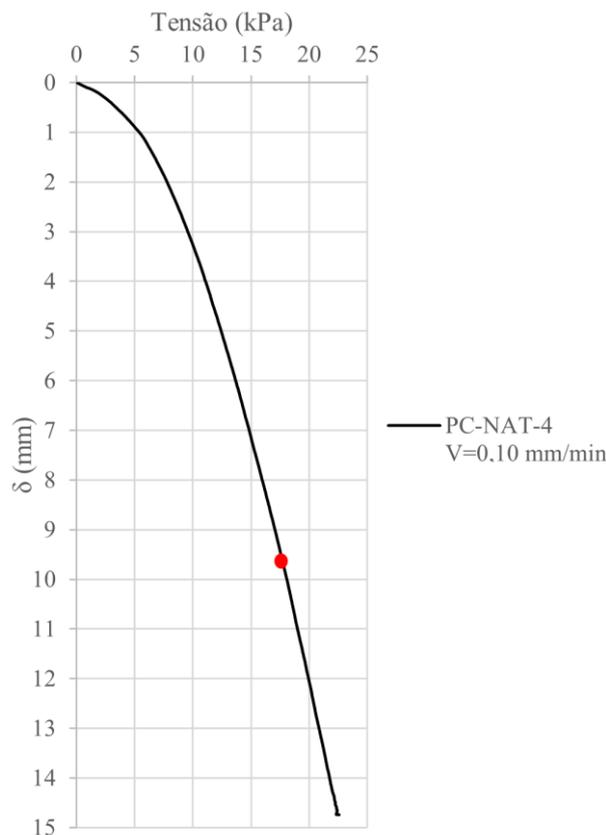


Fig. 5. Curva tensión-desplazamiento para una zapata circular sin refuerzo.

En la Figura 6 se presentan los resultados de los ensayos en modelo reducido de la fundación superficial circular más el refuerzo en suelo-cemento. En total se realizaron tres ensayos con refuerzo, donde las dimensiones de diámetro y espesor de la capa fueron diferentes.

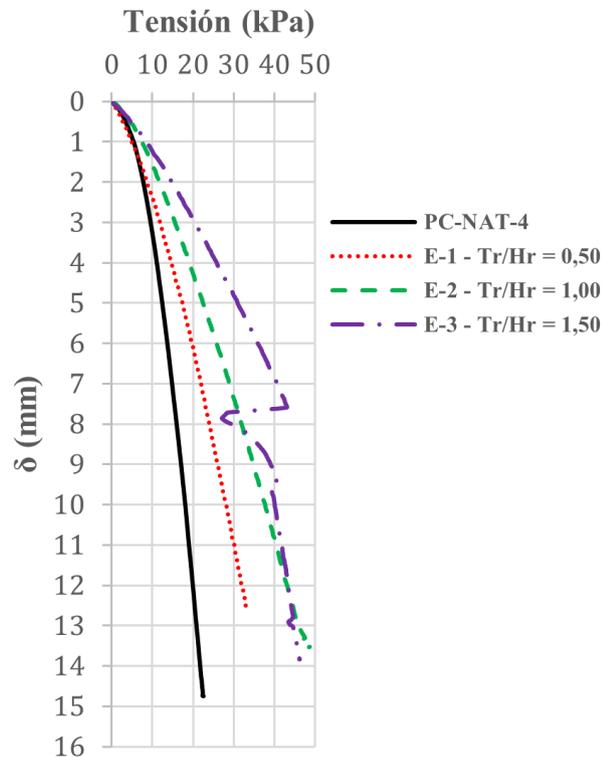


Fig. 6. Curva tensión-desplazamiento para una zapata circular con la inclusión del refuerzo.

4. Análisis

Como puede observarse en la Figura 6, la inclusión del refuerzo debajo de la zapata circular provoca un mejoramiento en su capacidad de carga como así también una reducción en el desplazamiento vertical. Asimismo, se observa en la curva E-3 que se produce un quiebre de la curva, esto es provocado por la ruptura de la capa de refuerzo. Debido a esto último, se puede inferir que para este tipo de ensayo existen dos tipos en la cual la fundación alcanza la capacidad de carga máxima. La primera es por puncionamiento, es decir, la fundación más la capa de refuerzo se asientan continuamente en el suelo hasta alcanzar la máxima capacidad de carga. El segundo es cuando al ir siendo cargada la fundación más la capa de refuerzo, la capa de refuerzo llega a la rotura, ocasionando una brusca disminución de la capacidad de carga de la fundación.



JIDeTEV

Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción



5. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se pueden remarcar las siguientes conclusiones:

- La inclusión de una capa de refuerzo en suelo-cemento debajo de una fundación superficial circular proporciona un aumento de la capacidad de carga de la fundación, como así también una disminución en su asentamiento;
- Se identificaron dos tipos de ruptura del suelo al momento de llegar a la máxima capacidad de carga de la fundación. La primera, por puncionamiento, es decir, la fundación más la capa de refuerzo se asientan continuamente en el suelo hasta alcanzar la máxima capacidad de carga. El segundo es cuando al ir siendo cargada la fundación más la capa de refuerzo, la capa de refuerzo llega a la rotura, ocasionando una brusca disminución de la capacidad de carga de la fundación;
- Se observa que el uso de modelos reducidos de fundaciones superficiales en el estudio de su comportamiento genera resultados de gran valor.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido llevado a cabo gracias al apoyo financiero de la CAPES y el CNPq.

6. Referencias

- [1] N. C. Consoli, M. A. Vendruscolo & P. D. M. Prieto, "Behavior of Plate Load Test on Soil Layers Improved with Cement and Fiber", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 129, pp. 96-101, Jan. 2003.
- [2] N. C. Consoli, F. D. Rosa & A. Fonini, "Plate Load Test on Cemented Soil Layers Overlaying Weaker Soil", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 135, pp. 1846-1856, Dec. 2009.
- [3] A. Thomé et al., "Análise e Proposta de Método de Dimensionamento de Fundações Superficiais Apoiadas em Sistemas de Dupla Camada", *Solos e Rochas*, vol. 2, pp. 141-163, 2003.
- [4] Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), ASTM D2487, 2017.
- [5] Solo – Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos, NBR 12004, 1990.
- [6] Solo – Determinação do índice de vazios mínimo de solos não-coesivos, NBR 12051, 1991.
- [7] Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, NBR 6457, 2016.



JIDeTEV

Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico
Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción



- [8] Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica, NBR NM 23, 2001.
- [9] D. Foppa, R. L. Sacco & N. C. Consoli, “Bearing capacity of footings on artificially cemented layer above weak foundation soil”, <https://doi.org/10.1680/jgrim.18.00089>, 2018.
- [10] A. B. Vesic, “Bearing Capacity of Shallow Foundations”, Foundation Engineering Handbook, p. 121–145, 1975.