

## COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE PILOTES ATORNILLADOS BAJO CARGA LATERAL EN SUELOS FRICCIONALES Y COHESIVOS

### GEOTHECHNICAL BEHAVIOR OF SCREW PILES UNDER LATERAL LOADIN FRICTIONAL AND COHESIVELESS SOILS

Aylín Vargas Leyva<sup>1</sup>, Willian Daniel Cobelo Cristiá<sup>2</sup>, Yelena Montes Minguez<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Universidad de Holguín, Cuba y email: [aylinvl@uho.edu.cu](mailto:aylinvl@uho.edu.cu), <sup>2</sup>Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cuba y email: [wcobelo@civil.cujae.edu.cu](mailto:wcobelo@civil.cujae.edu.cu), <sup>3</sup>Especialista en Proyectos de EPROYIV, Cuba y email: [yelena@gmail.com](mailto:yelena@gmail.com)

#### RESUMEN

Los pilotes helicoidales se han extendido como solución de cimentación profunda de construcciones sobre el mar. En Cuba, la entrada de esta tecnología procedente de China y Canadá, conlleva a la necesidad de estudiar su comportamiento geotécnico para las condiciones de carga establecidas en las normativas vigentes. Los estudios de pilotes atornillados sometidos a carga lateral son reducidos y se requiere ampliar los criterios de su comportamiento para el diseño y la evaluación del empleo de un dispositivo mecánico para restringir el desplazamiento lateral e incrementar la capacidad de carga lateral sin necesidad de aumentar el diámetro del pilote. Este trabajo propone un estudio numérico para determinar la capacidad de carga lateral geotécnica última en los pilotes atornillados con la presencia de un dispositivo mecánico de restricción lateral en suelos friccionales y cohesivos a través del programa Abaqus/CAE 6.14, basado en el Método de los Elementos Finitos. Se evalúa la significación de la restricción lateral, el tipo de suelo y el diámetro del pilote en el comportamiento geotécnico a partir de un modelo numérico calibrado con ensayos de pruebas de carga para simular el efecto de interacción pilote-suelo. Se demuestra que la presencia del dispositivo incrementa la capacidad de carga lateral y disminuye los desplazamientos horizontales.

Palabras clave: Pilotes Helicoidales; Modelación Numérica; Abaqus; Carga Lateral

#### ABSTRACT

Helical piles in construction have spread as a deep foundation solution for constructions on the sea. In Cuba, the entry of this technology from China and Canada, leads to the need to study its geotechnical behavior for the load conditions established in current regulations. Studies of screw-retained piles subjected to lateral load are reduced and it is necessary to extend the criteria of their behaviour for the design and evaluation of the use of a mechanical device to restrict lateral displacement and increase lateral load capacity without the need to increase the diameter of the pile. This paper proposes a numerical study to determine the ultimate geotechnical lateral load capacity in bolted piles with the presence of a mechanical lateral restraint device in frictional and cohesive soils through the program Abaqus/CAE 6.14 based on the Finite Element Method. The significance of lateral restraint, soil type and pile diameter in geotechnical behavior is evaluated from a numerical model calibrated from load tests to simulate the effect of pile-soil interaction. It is demonstrated that the presence of the device increases the lateral load capacity and decreases displacements.

Keywords: Screw Pile; Numeric Modeling; Abaqus; Lateral Load

## 1. INTRODUCCIÓN

Los pilotes helicoidales (figura 1) son elementos modulares con una o varias hélices tipo tornillo de acero de alta resistencia soldadas a un fuste o eje central que permiten transmitir las cargas de las estructuras a los estratos de suelos más firmes ubicados en profundidad y aportan alta capacidad de carga de acuerdo a su instalación. Fue introducido por Alexander Mitchell en 1836 (Carol, 2018). Sus innumerables aplicaciones y ventajas lo han difundido ampliamente como una cimentación profunda de rápida ejecución en condiciones difíciles y con poco impacto para el medio ambiente en países como Canadá, Chile, Brasil, Estados Unidos, Australia, Japón, entre otros (Müller, 2014). En su trayectoria han evolucionado y existen varias compañías internacionales que se dedican a su comercialización. Actualmente en Cuba cobra auge su empleo en parques fotovoltaicos, obras marítimas y en la infraestructura hotelera.



Figura 1 Pilotes helicoidales  
Fuente: Cobelo, 2018

Ante esta situación es importante estudiar su comportamiento geotécnico bajo las cargas actuantes. A diferencia de los pilotes helicoidales sometidos a cargas de compresión y tracción que han sido ampliamente estudiados, para cargas laterales los estudios son más reducidos y posiblemente sea en la última década donde se han estudiado con mayor profundidad (M. Sakr, 2010b).

Los métodos de análisis y dimensionamiento para determinar la capacidad de carga y los desplazamientos para pilotes cargados lateralmente se agrupan de manera general en cinco categorías: métodos basados en la capacidad límite del suelo, métodos basados en el módulo de reacción del suelo (Método de Winkler), métodos de transferencia de carga basados en las curvas de resistencia vs desplazamiento del suelo ( $p$  vs  $y$ ), métodos elásticos y métodos numéricos (Método de Elementos Finitos, en siglas MEF).

Numerosos estudiosos han empleado el MEF para resolver problemas geotécnicos y de cimentación. Randolph (1981) hace referencia a investigadores como Wilson (1965), Evangelista & Viggiani (1976), Banerjee (1977), Randolph (1977) e Kuhlemeyer (1979). Yegian & Wright (1973), Thompson (1977), Kooijman (1989), Brown et al. (1989). Brown & Shie (1991) y Portugal & Seco y Pinto (1993) utilizaron el MEF para la obtención de las curvas  $p$  vs  $y$  (Domínguez, 2017; González, 2014). Randolph (1994), Abalo (1975) y Zequeira acuden a la utilización del M.E.F y el comportamiento no lineal del suelo para la solución de problemas de tensión-deformación en diferentes obras geotécnicas y en el análisis del comportamiento de pilotes bajo el efecto de carga horizontal (Ibáñez, 2012).

Tuladhar et al (2008) realizaron un estudio experimental sobre el comportamiento cíclico de pilotes de hormigón cargados horizontalmente para estudiar su comportamiento sísmico, además modelaron el problema utilizando un modelo elástico-plástico no lineal para el suelo y un modelo de fractura para el pilote de hormigón simulado como elemento sólido (González, 2014). Livneh & Hesham El Nagggar (2008) modelaron pilotes helicoidales con el software Plaxis 3D Foundation con la finalidad de definir el mecanismo de falla ante el trabajo a compresión. Así mismo, (M.H., 2013) realizaron un modelo con elementos finitos con el programa Abaqus para simular el trabajo de grupo de pilotes helicoidales sometido a carga axial, en el que declaran que el rendimiento de un grupo de pilotes helicoidales en arena o arcilla se ve afectado principalmente por el espaciado de centro a centro de los pilotes.

(Salhi, 2013) estudió el comportamiento de los pilotes helicoidales con elementos no porosos bajo cargas de compresión y demostró el mecanismo de falla. En el 2014, nuevamente en Plaxis 2D, analizó pilotes helicoidales sometidos a cargas de tracción como elementos placas, en el que se concluyó que el efecto de la instalación debe ser modelado a través de tensiones volumétricas o desplazamientos prescritos y además que, en la carga por tracción, los efectos de la instalación del tipo de pilotes sobre los suelos pueden ser ignorados (L. Salhi, 2014). (Konstantina Papadopoulou, 2014) investigó micro pilotes en suelos

cohesivos y friccionantes puros bajo cargas de compresión, tracción y laterales mediante los programas Plaxis 3D Foundation y Plaxis 3D tunnel bajo condiciones axial-simétricas, los que arribaron que la capacidad de carga lateral se obtiene prácticamente idéntica para un desplazamiento en la cabeza de 25 mm.

En Cuba, (Rodríguez, 2017) estudió el comportamiento de los pilotes helicoidales sometidos a cargas externas de tracción en suelos friccionales y cohesivos utilizando el M.E.Fa través del programa Plaxis 2D. Se demostró que el parámetro más influyente en el comportamiento de falla del pilote helicoidal sometido a tracción es el espaciamiento entre sus hélices y que las propiedades del suelo y las características geométricas de las hélices influyen en la capacidad de carga a tracción del pilote helicoidal.

Con la finalidad de profundizar en el estudio del comportamiento de este tipo de cimentación, el presente trabajo tiene como objetivo determinar la capacidad de carga lateral geotécnica última en los pilotes atornillados con la presencia de un dispositivo mecánico de restricción lateral en suelos friccionales y cohesivos puros, a partir de modelos numéricos en el programa Abaqus/CAE 6.14 basado en el Método de los Elementos Finitos.

## 2. METODOLOGÍA

Se elaboraron los modelos en el programa de elementos finitos Abaqus/CAE 6.14, en el que se concibieron dos partes: el suelo y el pilote. El suelo se modeló como un sólido deformable cilíndrico con dimensiones 20 veces el diámetro del pilote en sentido horizontal (20D) y 1.5 veces la longitud del pilote (1.5L) por la vertical. Para simular su comportamiento, se consideró el modelo constitutivo de Mohr-Coulomb, definido por los parámetros de la tabla 1, en la parte elástica: módulo de elasticidad (E) y coeficiente de Poisson ( $\nu$ ) y en la plástica: cohesión (c), ángulo de fricción interna ( $\phi$ ) y ángulo de dilatación ( $\psi$ ) para cada uno de los cuatro suelos estudiados

Tabla 1 Parámetros característicos de los suelos estudiados

Tipo de suelo	Módulo de Young (E) [MPa]	Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )	Cohesión (c) [kpa]	Ángulo de fricción ( $\phi$ ) [°]	Ángulo de dilatación ( $\psi$ ) [°]	Peso específico [kN/m <sup>3</sup> ]
Arena 1	14	0.35	5	35	5	18
Arena 2	25	0.35	5	36	6	18
Arcilla 1	10	0.3	45	1	0.1	18
Arcilla 2	14	0.3	80	1	0.1	18

Fuente: Elaboración propia

Se modeló también el pilote como un sólido deformable con dos hélices: espaciadas la primera a 0.1 m de la punta inferior del pilote y la segunda a 0.61 m de la hélice inferior, siguiendo las especificaciones de la tabla 2. Para las hélices del pilote se emplearon discos planos (Konstantina Papadopoulou, 2014). Para representar su comportamiento, se consideró un modelo lineal-elástico. La tabla 3 muestra los parámetros físicos y mecánicos que definen el comportamiento del material del pilote. Además, se modeló un dispositivo mecánico de restricción lateral como el que se muestra en la figura 2.

Tabla 2 Configuración del pilote

Pilote	Fuste			Hélices		
Tipo	Altura (m)	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Número de hélices
Pilote largo	3.7	89	5.5	254	9.5	2
Pilote largo	4.2	89	5.5	254	9.5	2
Pilote largo	4.7	89	5.5	254	9.5	2
Pilote largo	4.7	167	7.1	254	9.5	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 Parámetros característicos del material del pilote

Material	Módulo de Young (E) [MPa]	Coefficiente de Poisson (v)	Peso específico [kN/m³]
Acero	210000	0.3	78.5

Fuente: Elaboración propia

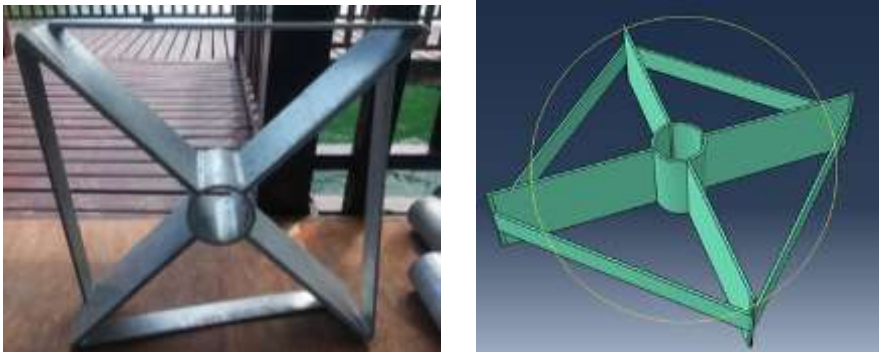


Figura 2 Dispositivo mecánico de restricción lateral

Fuente: Cobelo, 2018

La interacción entre las partes del modelo se representó por un contacto tipo normal (Hard Contact) y un contacto tipo friccional (Penalty), siguiendo la Ley de Coulomb (1), definiendo un coeficiente de fricción ( $\mu$ ) y la proporción que se genera entre las tensiones tangenciales y las normales, dependiendo del tipo del suelo y sus propiedades. En el modelo se tomó un valor de  $\mu = \tan(0.8\varphi)$ .

$$\tau = \mu * \sigma$$

(1)

Para idealizar las condiciones reales en el suelo, se restringieron los desplazamientos en las direcciones horizontales en las superficies laterales y en la superficie inferior se restringen los desplazamientos verticales y horizontales.

Las cargas se aplicaron en tres pasos. En un paso de análisis inicial se consideró la carga gravitatoria con un valor de  $g = -1 \text{ m/s}^2$ , siendo propagada a los otros pasos de análisis. En un segundo paso de carga se trabajó con el paso geostático. Por último, se definió la carga horizontal, impuesta a través de un desplazamiento colocado en la dirección del eje "x" de 0.025 m.

Cuando se emplean métodos numéricos en la solución de diferentes problemas de ingeniería los resultados alcanzados son aproximados. Por este motivo los modelos numéricos tienen que someterse a un proceso de calibración, que consta de dos pasos fundamentales: la calibración matemática y la calibración física. Se determinó que el tipo de elemento a emplear fueran los de tipo cuña con una malla de 0.3. Se simuló la prueba de carga de (Mohammed Sakr, 2010) y en comparación con los resultados del modelo numérico, la figura 3 muestra satisfactoriamente el ajuste con el modelo computacional.

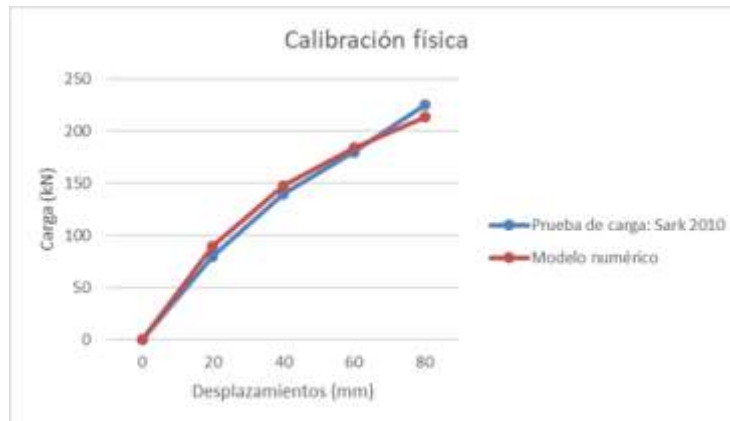
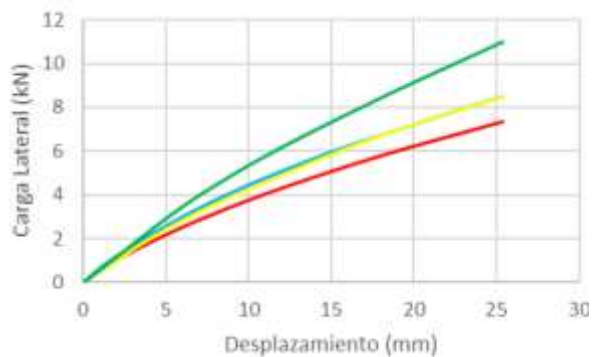


Figura 3 Resultados de la calibración física  
 Fuente: (Domínguez, 2017)

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

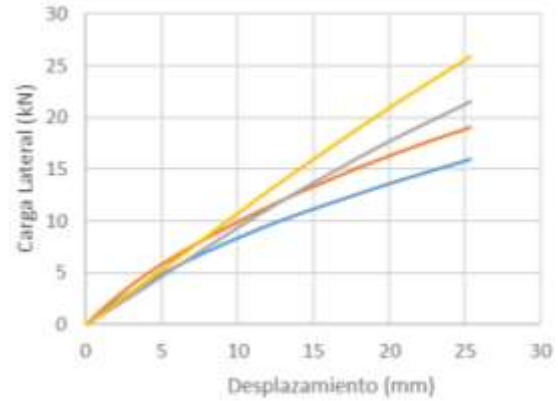
Se investigó la influencia de la restricción lateral y el tipo de suelo en la capacidad de carga lateral en pilotes de 89 mm con una profundidad de embebimiento de 2.7 m y con una longitud libre de 0.5 m con y sin la presencia del dispositivo mecánico de restricción lateral. Se analizaron pilotes de 89 mm de diámetro con una misma profundidad de embebimiento de 2.7 m a diferentes longitudes libres (1.0 y 2.0 m) para longitudes totales de 3.7 y 4.7 m para los cuatro tipos de suelo y con la presencia del dispositivo mecánico de restricción lateral bajo un desplazamiento lateral de 0.025 m en la cabeza del pilote para evaluar cuánto influye la longitud libre del pilote. Se estudió además la influencia del diámetro (89 y 167 mm) en un pilote sin la presencia del dispositivo mecánico de restricción lateral con una longitud libre de 2.0 m.

Los gráficos siguientes muestran las curvas de carga lateral contra desplazamiento en los cuatro tipos de suelos sin la presencia (figura 4a) y con el dispositivo mecánico de restricción lateral (figura 4b). En el primero, se observa que las cuatro curvas presentan una superposición aproximadamente hasta los 3 o 4 mm de desplazamiento, mientras que en el segundo con la presencia del dispositivo mecánico se superponen hasta los 2 o 3 mm. Cuando se modifica del suelo 1 (Arena 1) al suelo 2 (Arena 2) existe un incremento de la capacidad de carga lateral de 13.54% para pilotes sin el dispositivo mecánico de restricción lateral y un 16.39% para pilotes con el dispositivo mecánico de restricción lateral. En el caso de las arcillas cuando se varió del suelo 3 (Arcilla 1) al suelo 4 (Arcilla 2) también se evidencia un aumento de la capacidad de carga lateral de un 22.84% sin el empleo del dispositivo mecánico de restricción lateral y de un 16.98% con el dispositivo mecánico de restricción lateral. De acuerdo con la figura 5, en la superficie del suelo tanto en arenas como en arcillas existe un mayor desplazamiento cuando no se emplea el dispositivo mecánico de restricción lateral, validando la función del mismo como un dispositivo de restricción de desplazamientos frente a cargas laterales.



— Suelo 1: arena 1      — Suelo 3: arcilla 1  
 — Suelo 2: arena 2      — Suelo 4: arcilla 2

a)



— Suelo 1: arena 1      — Suelo 3: arcilla 1  
 — Suelo 2: arena 2      — Suelo 4: arcilla 2

b)

Figura 4 Curvas de carga lateral contra desplazamientos en un pilote helicoidal de 89 mm de diámetro con una longitud libre de 0.5 m

a) sin el dispositivo mecánico de restricción lateral b) con el dispositivo mecánico de restricción lateral

Fuente: (Domínguez, 2017)

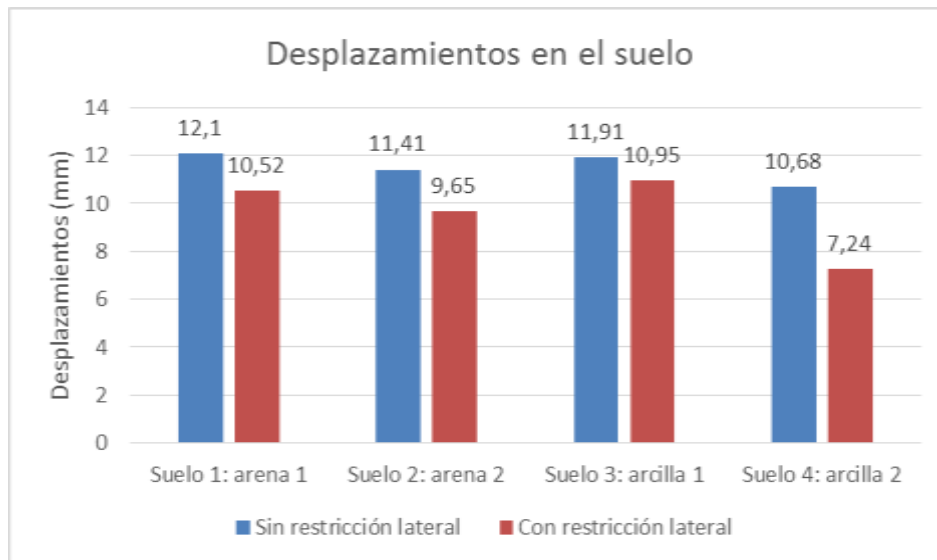


Figura 5 Desplazamientos en la superficie de los suelos arenosos y arcillosos sin y con dispositivo mecánico de restricción lateral en el pilote helicoidal

Fuente: Domínguez, 2017



En la figura 6a, en las curvas de carga lateral contra desplazamiento se evidencia que las cuatro curvas presentan una superposición similar hasta los 3 mm de desplazamiento, donde predomina el comportamiento elástico del suelo y del pilote. La capacidad de carga lateral presenta poca variación para los suelos estudiados; el valor máximo se manifiesta en las curvas de la arena 2 y la arcilla 2. Cuando se modifica del suelo 1 (Arena 1) al suelo 2 (Arena 2) existe un incremento de la capacidad de carga lateral de 10.91% para pilotes con 1.0m de longitud libre y un 5.80% para pilotes con 2.0m de longitud libre. En el caso de las arcillas cuando se varió del suelo 3 (Arcilla 1) al suelo 4 (Arcilla 2) también se evidencia un aumento de la capacidad de carga lateral de un 8.09% para 1.0m de longitud libre y de un 3.94% con 2.0 m de longitud libre. Esto es debido al aumento del ángulo de fricción en la arena y de la cohesión en la arcilla.

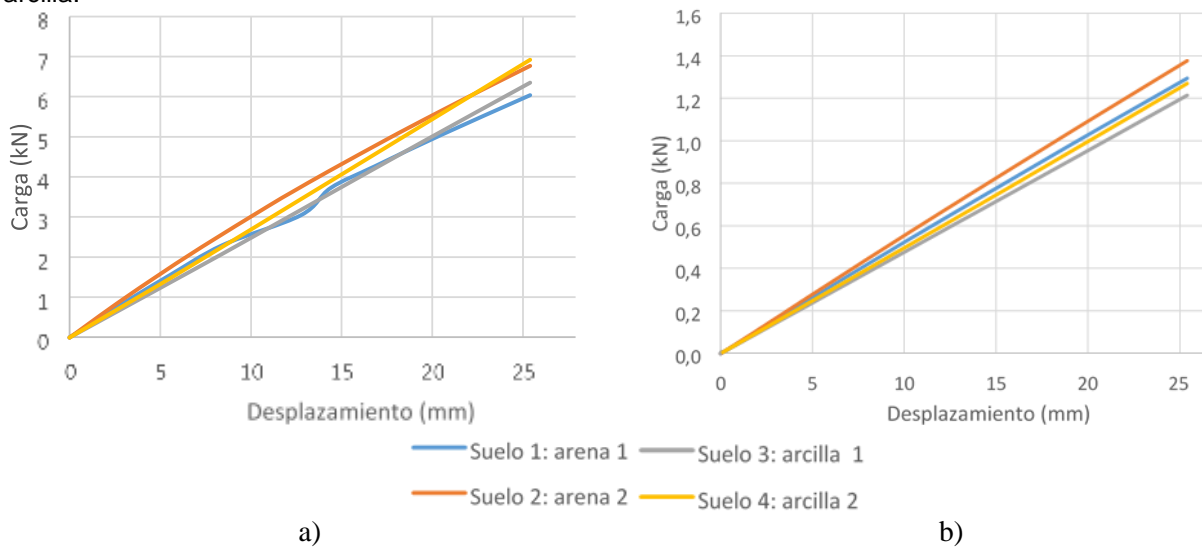
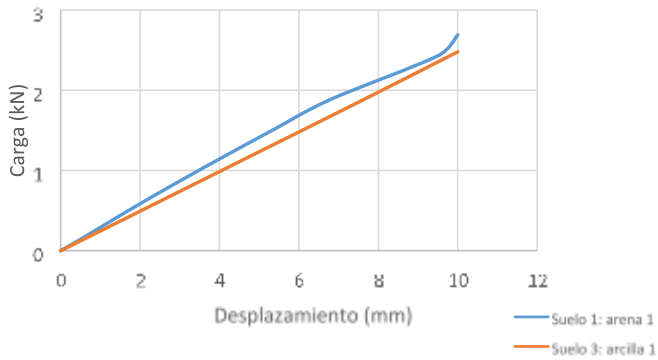


Figura 6 Curvas de carga lateral contra desplazamientos en un pilote helicoidal de 89 mm de diámetro con a) una longitud libre de 1.0 m b) una longitud libre de 2.0 m

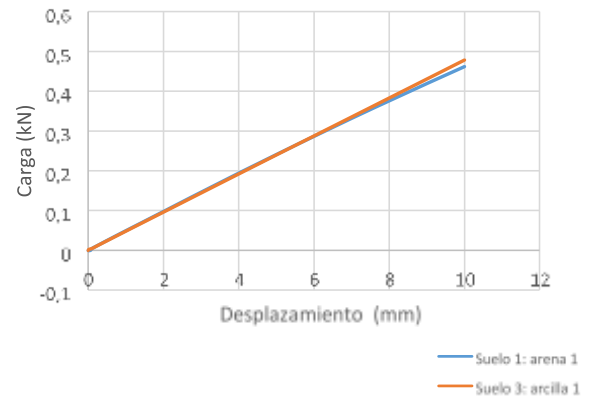
Fuente: (Montes, 2018)

La figura 6b denota que, al aumentar la longitud libre de los pilotes helicoidales disminuye notablemente la capacidad de carga lateral. Para todos los suelos la relación carga-desplazamiento es prácticamente lineal, indicando que no se genera completamente la rotura del suelo en contacto con el pilote. En este caso en el suelo que el pilote presenta mayor capacidad de carga lateral es en la Arena 2. El criterio de mayor resistencia al esfuerzo cortante según los parámetros del suelo condiciona la capacidad de carga lateral del pilote antes de que este falle por fluencia del acero. Al analizar el comportamiento del pilote cuando varía su longitud libre se concluye que, en el suelo 1 disminuye su capacidad resistente en un 78.48%, en el suelo 2 un 79.6%, en el suelo 3 un 80.8% y en el suelo 4 un 81.6%, lo que ocurre debido al incremento de la esbeltez del pilote y al ser un pilote de pequeño diámetro se producen esfuerzos de flexión que ocasionan la fluencia del material del pilote (el acero).

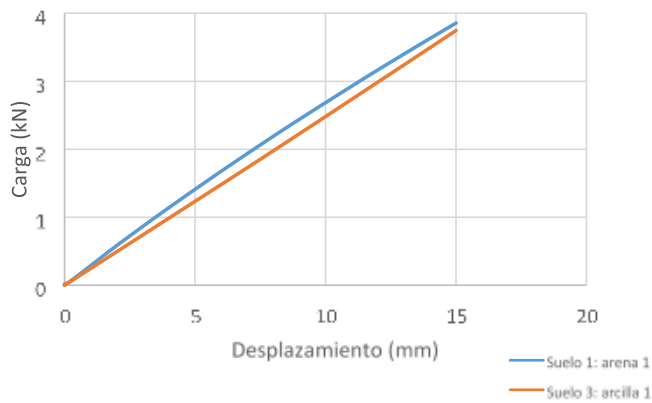
Las figuras 7a, 7b y 7c revelan que al incrementar el desplazamiento impuesto en la cabeza del pilote con una longitud libre de 1.0 m se incrementa la capacidad de carga lateral en el suelo 1 en un 55.46% y en el suelo 3 en un 61.01%. Esto se debe a la generación progresiva de la presión pasiva en el suelo con el incremento del desplazamiento horizontal impuesto al pilote. Las figuras 7d, 7e y 7f muestran un comportamiento diferente cuando la longitud libre es de 2.0 m. La figura 7d describe de forma creciente una superposición hasta los 8 mm de desplazamiento. De igual forma, en la figura 7e ocurre un recorrido muy similar hasta los 7 mm, donde el suelo 3 alcanza mayor capacidad de carga. Sin embargo, cuando se impone un mayor desplazamiento (figura 7f) no sucede de igual manera, alcanzando mayor capacidad de carga el suelo friccional. Se demuestra además que al incrementar el desplazamiento impuesto en la cabeza del pilote con una longitud libre de 2.0 m en el suelo 1 se obtiene un incremento de 64.62% de la capacidad de carga, mientras que en el suelo 3 se alcanza un aumento de 60.66%.



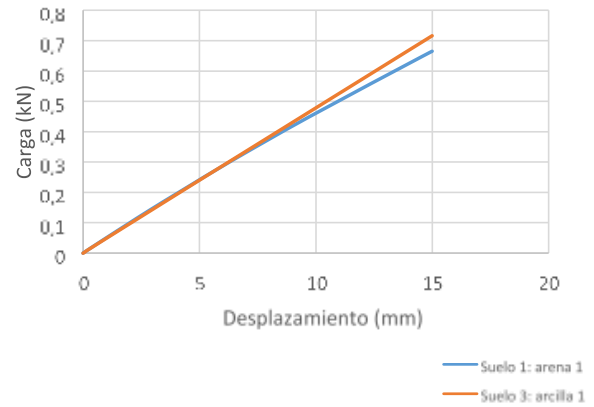
a) 10 mm



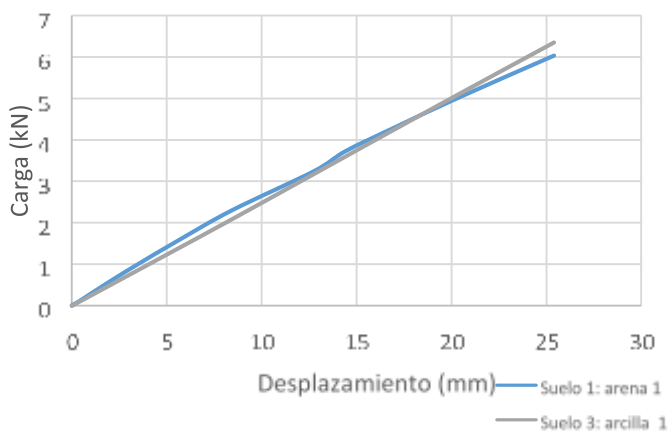
d) 10 mm



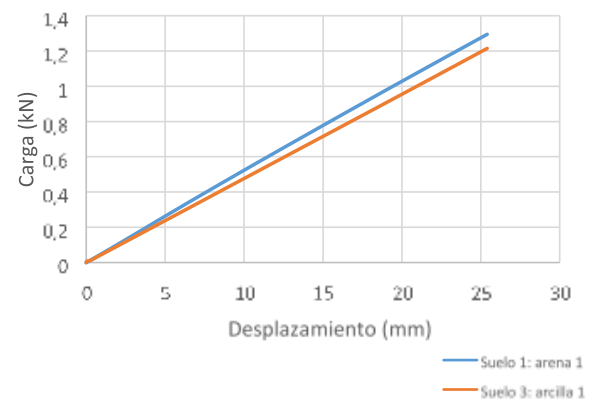
b) 15 mm



e) 15 mm



c) 25.4 mm



f) 25.4 mm

Figura 7 Variación del desplazamiento en la cabeza del pilote de 89 mm de diámetro con 1.0 m de longitud libre a), b) y c) y con 2.0 m de longitud libre d), e) y f)  
 Fuente: (Montes, 2018)



La figura 8 describe las curvas de carga contra desplazamiento en un pilote de 167 mm de diámetro en los cuatro tipos de suelo. De esta manera se concluye que, en suelo arcilloso de mayor cohesión, el pilote alcanza mayor capacidad de carga. Según la figura 9, en la arena existe un incremento de 85.25% de la capacidad de carga lateral cuando aumenta el diámetro del pilote y en la arcilla un 86.65%.

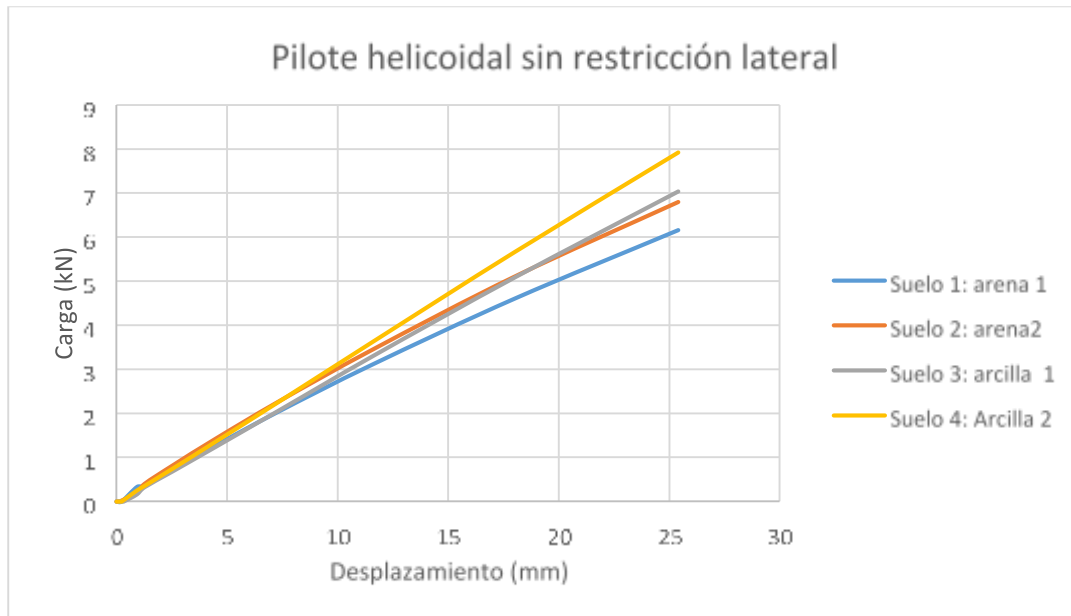
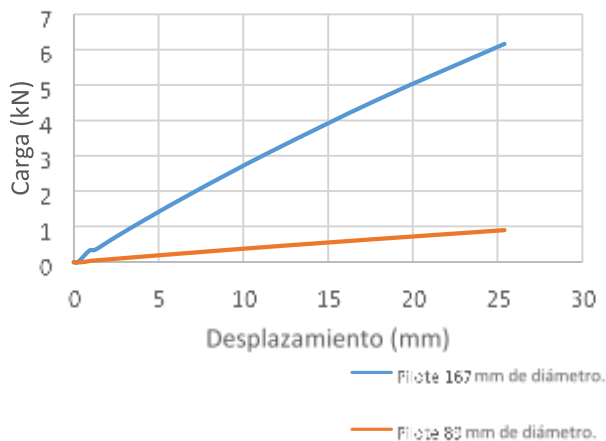


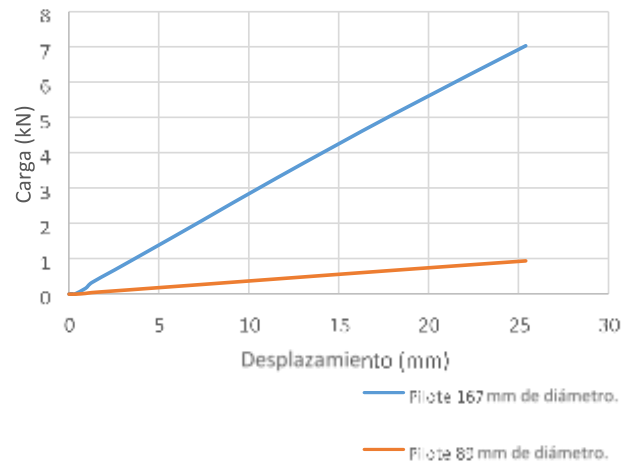
Figura 8 Curvas de carga contra desplazamiento en un pilote helicoidal de 167 mm de diámetro con una longitud libre de 2.0 m en los diferentes tipos de suelos  
Fuente: (Montes, 2018)

#### Pilote helicoidal sin restricción lateral



a)

#### Pilote helicoidal sin restricción lateral



b)

Figura 9 Curvas de carga contra desplazamiento para pilotes de 89 y 167 mm de diámetro con una longitud libre de 2.0 m en a) Arena 1 y b) Arcilla 1  
Fuente: (Montes, 2018)

#### 4. CONCLUSIONES

1. El dispositivo de restricción lateral aumenta significativamente la capacidad de carga lateral del pilote y disminuye el desplazamiento en la superficie del suelo.
2. El aumento de la longitud libre del pilote disminuye la capacidad de carga lateral.
3. El diámetro del pilote es el parámetro que más influye en la capacidad de carga lateral del pilote.

#### 5. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de interés con la investigación presentada.

#### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Carol, M. (2018). Ultimate load bearing capacity and settlement of triangular screw pile based on design parameters. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) 05(06), 3.
2. Domínguez, A. (2017). Tesis de grado Estudio del efecto del Techno Besches en solución de pilotes atornillados mediante el Método de los Elementos Finitos. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba.
3. González. (2014). Estudio Numérico do Comportamento de Estacas Carregadas Lateralmente. (Tesis de maestría), Universidade de Brasília, Brasília.
4. Ibáñez, D. I. L. O. (2012). Recomendaciones para la modelación de las cimentaciones sobre pilotes por Método de los elementos finitos. Revista de Arquitectura e Ingeniería, Vol. 6, Núm. 2, 8.
5. Konstantina Papadopoulou, H. S., Vasileios Papadopoulos. (2014). Finite Element Analyses and Experimental Investigation of Helical Micropiles. Geotech Geol Eng, 15. Doi: 10.1007/s10706-014-9771-6
6. L. Salhi, O. N.-R., C. Deyrat, C. Roos. (2014). Numerical Modeling of the Screw-Pile Behavior under Tensile Loading in Cohesionless soil. 6.
7. M.H., E. Z. E. N. (2013). The Performance of Helical Pile Groups Under Compressive Loads: A Numerical Investigation from <https://www.researchgate.net/publication/278405899>
8. Montes, Y. (2018). Tesis de grado Comportamiento geotécnico y estructural de pilotes atornillados frente a cargas laterales. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba.
9. Müller, L. (2014). Tesis de grado Metodología para el diseño de pilotes helicoidales para las condiciones cubanas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba.
10. Rodríguez, F. (2017). Tesis de grado Estudio numérico del comportamiento tenso deformacional de pilotes helicoidales sometidos a tracción. Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", La Habana, Cuba.
11. Sakr, M. (2010). Lateral Resistance of High Capacity Helical Piles – Case Study GEO2010, 8.
12. Sakr, M. (2010b). Lateral resistance of high capacity helical piles - case study.
13. Salhi, N.-R., Deyrat and Roos. (2013). Numerical Modeling of Single Helical Pile Behavior under Compressive Loading in Sand. EJGE, 18, 20.

#### SOBRE LOS AUTORES

Aylín Vargas Leyva, Universidad de Holguín, profesora instructora del Departamento de Construcciones de la Facultad de Ingeniería, candidata a Máster. Miembro de la UNAICC. Correo: [aylinvl@uho.edu.cu](mailto:aylinvl@uho.edu.cu)  
Willian Daniel Cobelo Cristián, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", profesor a tiempo completo, Profesor Titular y Doctor en Ciencias Técnicas. Correo: [wcobelo@civil.cujae.edu.cu](mailto:wcobelo@civil.cujae.edu.cu)



Yelena Montes Minguez, IngenieraCivil, Especialista en Proyectos de EPROYIV, Cuba y Correo:  
[yelena@gmail.com](mailto:yelena@gmail.com)